

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN TÜRK BOĞAZLARI VE
MARMARA DENİZİ İÇİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz İNAK

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN TÜRK BOĞAZLARI VE MARMARA
DENİZİ İÇİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Deniz İNAK
(508181005)**

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Selma ERGİN

ŞUBAT 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 508181005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Deniz İNAK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN TÜRK BOĞAZLARI VE MARMARA DENİZİ İÇİN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Selma ERGİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Ocak 2022

Savunma Tarihi : 17 Şubat 2022





Aileme,



ÖNSÖZ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği'nde yüksek lisans öğrenimime başladığımda, profesyonel kariyerimin de başlarındaydım. İlk işimde otomotiv sektöründe egzoz sistemleri geliştiren bir ekibin parçası olmuş, ulusal ve uluslararası çeşitli kurallarla uyumlu çalışacak sistemleri tasarlıyordum. Tasarımlarımız en sonunda kurallara uyumluluğun belirlenmesi için çeşitli testlere tabi tutuluyor ve yapılan tasarımın planlanan etkiyi sağlayacağından emin olunuyordu. Bir anlamda, tasarımlarımız çeşitli kural koyucular tarafından sınavdan geçiriliyordu.

Şimdi, yüksek lisans eğitimime başladıktan çok sonra, çeşitli kural koyucuların isteklerini yerine getirmek üzerine çalışırken başladığım yüksek lisans eğitimimi farklı kural koyucuların yaptıklarının gerçek hayata etkisini inceleyerek bitirmeyi, ancak, kaderin küçük bir cilvesi olarak adlandırabilirim.

Bu tezde kullanılan verilere erişim izni verdikleri ve verilerin sağlanmasında gösterdikleri çabadan ötürü Türkiye Cumhuriyeti Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı ve Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

Bütün bu süreç içinde kendisinden her zaman anlayış, destek ve rehberlik gördüğüm danışmanım Prof. Dr. Sayın Selma ERGİN'e teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2022

Deniz İNAK
(Egzoz Sistemleri Eski Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Kapsam.....	3
1.4. Hipotez	4
2. GEMİ EMİSYONLARININ OLUŞUMU VE ETKİLERİ	7
2.1. Emisyon Oluşumu	7
2.1.1. Yanma kaynaklı emisyonlar	7
2.1.2. Yakıt kaynaklı emisyonlar.....	8
2.2. Emisyonların Etkileri	10
2.2.1. Çevresel etkiler	10
2.2.1.1. Hava kalitesi	10
2.2.1.2. Alt tabaka ozonu	11
2.2.1.3. Parçacık maddeler	11
2.2.1.4. Fotokimyasal sis	12
2.2.1.5. Asit yağmurları	13
2.2.1.6. Ozon tabakasının delinmesi	13
2.2.1.7. Küresel ısınma	14
2.2.2. İnsan sağlığı üzerine etkileri.....	15
3. GEMİ EMİSYON KURALLARI	17
3.1. IMO MARPOL Ek VI.....	17
4. BOĞAZLAR BÖLGESİ VE GEMİ TRAFİĞİ	21
4.1. İstanbul Boğazı.....	21
4.2. Çanakkale Boğazı.....	23
4.3. Marmara Denizi.....	24
4.4. Gemi Trafîği	25
4.4.1. Gemi tiplerine göre trafik istatistikleri	25
4.4.2. Gros tonaja göre trafik istatistikleri	26
4.4.3. Kurulu motor gücüne göre trafik istatistikleri	26
5. EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEMLERİ	29
5.1. Hesaplama Yöntemleri	29
5.1.1. Yukarıdan aşağıya hesaplama	29
5.1.2. Aşağıdan yukarıya hesaplama	29
5.1.2.1. Seviye 2 hesaplama	30

5.1.2.2. Seviye 3 hesaplama.....	34
5.2. Emisyon Faktörleri	35
5.2.1. Seviye 2 emisyon faktörleri	35
5.2.2. Seviye 3 emisyon faktörleri	37
5.3. Karbon Eşlenikleri.....	40
5.4. Hesaplamalarda Yapılan Kabüller.....	41
5.4.1. Seviye 2 hesaplama yöntemi kabülleri	41
5.4.2. Seviye 3 hesaplama yöntemi kabülleri	41
6. BOĞAZLAR VE MARMARA DENİZİNDEKİ EMİSYONLAR.....	43
6.1. 2019 Yılı Emisyonları	43
6.1.1. Yanma kaynaklı emisyonlar	43
6.1.2. Yakıt kaynaklı emisyonlar	44
6.1.3. Gemi tiplerine göre emisyonlar	45
6.1.4. Gemi inşa yıllarına göre emisyonlar	46
6.2. 2020 Yılı Emisyonları	50
6.2.1. Yanma kaynaklı emisyonlar	50
6.2.2. Yakıt kaynaklı emisyonlar	51
6.2.3. Gemi tiplerine göre emisyonlar.....	51
6.2.4. Gemi inşa yıllarına göre emisyonlar	52
6.3. Önceki Yıllara Göre Karşılaştırmalı Emisyonlar	54
6.4. Değişik Senaryolara Göre Hesaplamalar.....	56
6.4.1. ECA emisyon limitleri ile hesaplanan emisyonlar	56
6.4.2. Seviye 2 hesaplama yöntemiyle bulunan emisyonlar	57
6.5. Emisyonların Karbon Eşlenikleri	58
7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	61
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ	69

KISALTMALAR

BC	: Siyah karbon (Black Carbon)
BFO	: Gemi yakıtı (Bunker Fuel Oil)
EIA	: A.B.D Enerji Bilgi Ajansı (U.S. Energy Information Agency)
EMEP	: Avrupa İzleme ve İnceleme Programı (European Monitoring and Evaluation Programme)
EPA	: A.B.D. Çevre Koruma Ajansı (U.S. Environmental Protection Agency)
GRT	: Brüt olarak gemi tonajı
HC	: Hidrokarbon
HKDYY	: Hava Kirliliği Denetleme ve Yönetimi Yönetmeliği
KEGM	: Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü
MARPOL	: Gemi Kaynaklı Kirliliğin Önlenmesi için Uluslararası Sözleşme (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships)
MDO	: Gemi dizel yakıt (Marine diesel oil)
NMVOC	: Metalik Olmayan Uçucu Organic Bileşikler (Non Metallic Volatile Organic Compounds)
PM	: Partikül madde
rpm	: Dakika başına devir sayısı (revolution per minute)
SFOC	: Özgül Yakıt Tüketimi (Specific Fuel Oil Consumption)
TBDTDY	:Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği



SEMBOLLER

α	: Makine ve yakıt tipi kullanım oranı
β	: Özgül yakıt tüketimi
As	: Arsenik
Cd	: Kadminyum
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
E	: Emisyon
FC	: Tüketilen yakıt miktarı
EF	: Emisyon faktörü
HCB	: Hekzakloro benzen
Hg	: Cıva
HNO ₃	: Nitrik asit
HCO ₃	: Bikarbonat
H ₂ CO ₃	: Karbonik asit
H ₂ SO ₄	: Sülfürik asit
LF	: Yük Faktörü
L	: Katedilen mesafe
n	: Makine devir hızı (Devir / Dakika)
N _k	: Seçilen gemi tipinde geçen gemi sayısı
NO _x	: Azot oksitler
NO ₂	: Azot dioksit
O ₂	: Oksijen gazı
O ₃	: Ozon gazı
P _k	: Seçilen gemi tipi için ortalama güç
Pb	: Kurşun
Ni	: Nikel
P _e	: Endike Güç
PCDD/F	: Poliklorin dibenzodioksion ve dibenzofuranlar

PCB	: Poliklorin bifenil
Se	: Selenyum
SO_x	: Sülfür oksitler
SO₂	: Sülfür dioksit
t	: Ton
t_p	: Hareket süresi
t_k	: Yolculuk süresi
V_d	: Deklare hız
V_e	: Maksimum hız
Zn	: Çinko



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Yanma Kaynaklı Emisyon Türleri	8
Çizelge 2.2 : Yakıta Bağlı Emisyonlar ve Oranları	9
Çizelge 2.3 : HKDYY'ne Göre Hava Kirlilik Limitleri	11
Çizelge 3.1 : NO _x Limitleri	18
Çizelge 4.1 : Marmara Denizi Liman – Boğaz Uzaklıkları	24
Çizelge 4.2 : Gemi Tiplerine Göre Boğaz Trafik İstatistikleri	26
Çizelge 4.3 : Türk Boğazları'ndan Geçiş Yapan Gemileri Gros Tonajları	26
Çizelge 4.4 : Türk Boğazları'ndan Geçiş yapan Gemilerin Toplam Kurulu Makine Güçleri (kW).....	27
Çizelge 5.1 : Gemi Tipine Göre Ortalama Makine Gücü (Dünya Gemi Filosu – 2010)	31
Çizelge 5.2 : Gemi Tipine Göre Ortalama Hızlar.....	32
Çizelge 5.3 : Seviye 2 – Gemi Tiplerine Göre Motor ve Yakıt Kullanım Oranları (%)	33
Çizelge 5.4 : Seviye 2 Hesaplama Yöntemi için Emisyon Faktörleri	36
Çizelge 5.5 : Seviye 3 Hesaplama Yöntemi için Yanma Kaynaklı Emisyon Faktörleri	38
Çizelge 5.6 : Seviye 3 Hesaplama Yöntemi için Yakıt Kaynaklı Emisyon Faktörleri	39
Çizelge 5.7 : Karbon Eşlenikleri.....	40
Çizelge 6.1 : 2019 Yılı Yanma Kaynaklı Emisyonlar	44
Çizelge 6.2 : 2019 Yılı Yakıt Kaynaklı Emisyonlar.....	45
Çizelge 6.3 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yanma Kaynaklı Gemi Emisyonları (2019)	47
Çizelge 6.4 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yakıt Kaynaklı Gemi Emisyonları (2019).....	48
Çizelge 6.5 : 2020 Yılı Yanma Kaynaklı Emisyonlar	50
Çizelge 6.6 : 2020 Yılı Yakıt Kaynaklı Emisyonlar.....	51
Çizelge 6.7 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yanma Kaynaklı Gemi Emisyonları (2020)	53
Çizelge 6.8 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yakıt Kaynaklı Gemi Emisyonları (2020).....	53
Çizelge 6.9 : İstanbul Boğazı'ndaki Emisyonların Yıllara Göre Değişimi ($t / Yıl$).	55
Çizelge 6.10 : Çanakkale Boğazı'ndaki Emisyonların Yıllara Göre Değişimi ($t / Yıl$)	56
Çizelge 6.11 : 2020 Yılı ECA Bölgesi Limitli Emisyonlar ($t / Yıl$).....	57
Çizelge 6.12 : İstanbul Boğazı – Seviye 2 Yaklaşımı ($t / Yıl$).....	57
Çizelge 6.13 : Çanakkale Boğazı – Seviye 2 Yaklaşımı ($t / Yıl$).....	58
Çizelge 6.14 : Karbon Eşlenikleri ($t / Yıl$)	59
Çizelge 6.15 : Türkiye'deki Sera Gazı Salınımı Karbon Eşlenikleri ($Mt / Yıl$).....	59



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Fotokimyasal Sis – Şangay, Çin.....	12
Şekil 2.2 : Dünya Yüzey Sıcaklıklarının Ortalamaya Göre Farkları	14
Şekil 3.1 : ECA Sınırları.....	17
Şekil 3.2 : NO _x Emisyon Katsayıları	18
Şekil 3.3 : MARPOL Ek VI'ya Göre Yakıt Sülfür Yüzdesi (g/g) limitleri.....	19
Şekil 4.1 : İstanbul Boğazı Deniz Trafik Rotası	22
Şekil 4.2 : Çanakkale Boğazı Deniz Trafik Rotası	23
Şekil 4.3 : Marmara Denizi Gemi Rotası	25
Şekil 6.1 : Emisyonların Gemi Tiplerine Göre Dağılımı (2019)	46
Şekil 6.2 : Emisyonların Gemi İnşa Yılına Göre Dağılımı (2019).....	49
Şekil 6.3 : Emisyonların Gemi Tiplerine Göre Dağılımı (2020)	52
Şekil 6.4 : Emisyonların Gemi İnşa Yılına Göre Dağılımı (2020).....	54



GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN TÜRK BOĞAZLARI VE MARMARA DENİZİ İÇİN İNCELENMESİ

ÖZET

Özellikle 20. Yüzyıl'da gelişen teknoloji, artan nüfus ve ticari ilişkilerin etkisi ile insanoğlunun enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Bu artış, enerji kazanımı sürecinde açığa çıkan, direkt veya endirekt, zararlı ürünlerin de doğaya salınmasını beraberinde getirmektedir. Bu süreçte yapılan çalışmalar, CO₂, HC ve NO_x gibi zararlı ürünlerin hem insan sağlığına doğrudan olumsuz etkilere sahip olduğunu, hem de dünya atmosferinde sera gazı etkisi yaratarak Dünya'ya düşen güneş ışınlarının yeterince yansıtılamaması sebebiyle de küresel ortalama sıcaklıkları artırdığını ortaya koymuştur.

Bu tezde, Türk Boğazları ve Marmara Denizinden 2019 ve 2020 yılları içinde uğraklı veya uğraksız olarak geçen gemilerin saldıgı zararlı gaz emisyonları, aşağıdan yukarı (Seviye 3) hesaplama metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplarda gemi geçiş bilgileri Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden (KEGM) alınmıştır. Gemiler, tip, gros tonaj, makine tipi, kurulu makine gücü gibi pek çok kritere göre incelenmiştir.

Emisyon katsayıları için öncelikle Avrupa İzleme ve İnceleme Programı (EMEP) ve ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) yayınları kullanılmıştır. Emisyon limitleri için ise IMO MARPOL Ek VI'da getirilen NO_x limitleri güncel duruma uyacak şekilde alınmıştır. Ayrıca SO_x emisyonlarının hesaplanması için de yakıt sülfür miktarı gene IMO MARPOL Ek VI ile uyumlu şekilde hesaplamalara katılmıştır.

Hesaplamalar ayrıca Seviye 2 hesaplama yöntemi ile de tekrar edilerek, Seviye 2 ve Seviye 3 yaklaşımlarının farkları anlaşılmaya çalışılmıştır.

Yapılan literatür taraması sonucunda aynı bölge için 2019 ve sonrası için çalışma bulunamamıştır. Ancak daha önceki yıllar için yapılan çalışmalar ile emisyonlar başta olmak üzere çeşitli yönlerden karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda, toplam emisyonların yanısıra, karşılaştırmaya dahil edilen yıllardaki gemi karakteristikleri de incelenmiştir.

Yapılan hesaplarda bir adım ileri de gidilerek, emisyon standartlarının daha da iyileşmesi sonucunda elde edilecek kazanım da gösterilmeye çalışılmıştır. Bunun için Boğazlar Bölgesi'nin ECA ilan edilmesi senaryosu için hesaplamalar yapılmıştır. Senaryo, ECA SO_x limitlerinin devreye girdiği 2020 yılı için yapılmıştır.

Son olarak, salınımların karbon eşlenikleri hesaplanarak hangi emisyon tipinin küresel emisyon potansiyelinin en etkin olduğu gösterilmiştir.

AN INVESTIGATION OF SHIP SOURCED EMISSIONS FOR TURKISH STRAITS AND MARMARA SEA

SUMMARY

Advanced technology, ever increasing population and the globalisation of the trade have increased the energy consumption to record levels in the 20th century. This increase also led to increased emissions of harmful products as a result of energy production. Studies have shown that these emissions have serious adverse effects on both human health and environment.

Today, fossil fuels make up for 84.1% of the total energy used and the transportation has a significant 28% usage, based almost exclusively on fossil fuels. Because of this exclusivity, it is safe to say that the transportation activities have a significant impact on the global emissions.

When methods of transportation is examined, it is clear that the shipping is one of the most efficient in terms of a cargo transported a given distance. It is responsible from about 3% CO₂ emissions and it creates relatively more harmful emissions (NO_x, SO_x and HC), due to marine engines' working characteristics (such as use of heavy fuels), and lack of regulation relative to automotive emissions.

Starting with the second half of the 20th Century, various regulatory bodies have been implementing new regulations to limit the emissions. After the first regulations that came from the US, this issue has drawn attention. Today, various sectors from automotive to heavy industry have laws and regulations that limit the emissions permitted. Within this context, shipping has also been affected by these laws and regulations. The fuel is being standardized to achieve lower levels of sulphur within it, while the total emissions limits are being set. Increasing regulations have also dictated Emission Controlled Areas (ECAs) and the ships that do not conform ECA regulations are prohibited from entering these zones. With these regulations, bans and fines, the global shipping industry is being encouraged to upgrade ships with new propulsion systems and emission control technologies.

Related studies on this subject have revealed several methods for calculating such emissions. Namely, top-down and bottom-up approaches are used to have an estimate of the fuel burnt and the emissions released to the atmosphere.

Top-down (or Tier 1) approach considers the fuel used from the data supplied by the marine fuel suppliers to achieve the total ship fuel usage. Tier 1 approach only allows calculation of global emissions as it relies on the fuel sales. Since a ship can re-fuel practically anywhere, possibility of a report of any re-fueling in a specific area is very small. This small chance is the main driving factor of the uncertainty (or error) found in Tier 1 approach.

In order to decrease the error in top-down calculation method, bottom-up calculation methods (Tier 2 and Tier 3) have been developed. Tiers 2 and 3 can be used to calculate the emissions in local areas such as ports, cities or certain waterways.

In Tier 2 method, emissions are calculated through the fuel consumption. In order to find the fuel consumption, first, ships that made passage in the area of interest is listed and categorized according to type. Then, for each type of ship, average values for power and cruise speed is obtained through world ship fleet average values. With the cruise speed and cruise distance values, working hours are calculated. With power and duration known, total energy used on the passage is also known. Through the weighted fuel consumption values from world ship fleet, total fuel consumption is obtained and emission factors are used to determine the pollutant mass.

While Tier 2 method relies on average values to determine the fuel consumption, Tier 3 takes into account the route and the activities that any particular ship engages in as well as that ship's specifications. With these factored in, it is then possible to calculate each ship's unique fuel consumption. By using emission factors, each ship's effect on emissions are obtained for either a specific area or route.

In this thesis, the ship based emissions for Turkish Straits (Bosphorus and Dardanelles) and Marmara Sea is calculated using Tier 3 approach. Emissions for 20 different types of pollutants have been calculated and presented including CO₂, NO_x and SO_x emissions. The marine traffic has been evaluated against several criteria such as ship type, main engine type, power and rpm.

Effects of pollutants on the environment and human health have been laid out to emphasize the importance of maritime emissions regulations. Turkish Straits and Marmara Sea is chosen because it is affected by the ship based emissions as it is an important waterway, connecting Black Sea to Mediterranean. It is used by all the Black Sea neighbours of Turkey for commercial activities. Roughly 40 thousand ships make passage through each strait in each year, to both ports in Marmara (as non-transit) and to the ports in Mediterranean and Black Sea making the Turkish Straits one of the busiest waterways.

Turkish Straits and Marmara Sea is home to over 25 million people in 7 cities encircling Marmara with more than 30% of Turkey's annual gross domestic product. 5 major ports are located between İstanbul and Çanakkale Straits. More than a quarter of ship traffic is bound to these ports as a result of economic activities based in Marmara Region.

Ship traffic data has been supplied by the local authorities and ship specific information (such as ship type, main engine type and rpm, fuel type and service speed) has been gathered from the Automatic Identification System (AIS) and IHS data base. Emission factors for calculations of the pollutants are from the publications made by European Monitoring and Evaluation Program and U.S. Environmental Protection Agency.

To be able to compare the Tier 2 and 3 calculation methods, the emissions from the İstanbul Strait and Çanakkale Strait for 2020 have also been calculated by Tier 2 calculation method. Similar to Tier 3 calculations, publications made by European Monitoring and Evaluation Program and U.S. Environmental Protection Agency have been used to obtain the world ship fleet average values and emissions factors.

The results obtained for the years 2019 and 2020 are compared with the available results in the literature for the previous years (1998, 2003 and 2010). The differences between results for different years are evaluated in terms of emissions, and the number of vessels passing through the straits, their total power and gross tonnage to show the effect of the more stringent regulations have come into effect through years.

To further the study, ECA emission limits have been applied to show the possible improvement over the current status in Turkish Straits and Marmara Sea. In this scenario, ECA regulations on both NOX and SOX limits are taken into calculation to determine the decrease in emissions.

Lastly, global warming potentials of pollutants have been calculated to show the effects of different types of pollutants on the climate change as green house gasses by calculation their carbon equivalents.





1. GİRİŞ

1.1. Amaç

Özellikle 20. Yüzyıl'da gelişen teknoloji, artan nüfus ve ticari ilişkilerin etkisi ile insanoğlunun enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Bu artış, enerji kazanımı sürecinde açığa çıkan, direkt veya endirekt, zararlı ürünlerin de doğaya salınmasını beraberinde getirmektedir. Bu süreçte yapılan çalışmalar, CO₂, HC ve NO_x gibi zararlı ürünlerin hem insan sağlığına doğrudan olumsuz etkilere sahip olduğunu, hem de dünya atmosferinde sera gazı etkisi yaratarak Dünya'ya düşen güneş ışınlarının yeterince yansıtılamaması sebebiyle de küresel ortalama sıcaklıkları artırdığını ortaya koymuştur [1].

Günümüzde kullanılan enerjinin yaklaşık % 84,1'i fosil yakıtlardan (doğalgaz, kömür ve petrol) sağlanmaktadır [2]. Ulaştırma için ise, toplam kullanılan enerjinin % 28'i kullanılmaktadır [3]. Ulaştırma konusunda yenilenebilir (veya nükleer) enerji kaynaklarının çok düşük oranlarda kullanılabildiği düşünüldüğünde, ulaşım sektörünün küresel çapta emisyonlara etkisi daha rahat anlaşılmaktadır.

Deniz yolu taşımacılığı diğer taşıma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, aynı mesafe için en verimli taşımacılık yöntemlerinden biridir. Dünya CO₂ emisyonlarının sadece %3'ü gemi kaynaklı olsa da, gemilerin genellikle 2 zamanlı dizel çevrimi kullanmaları; özellikle uzun yollarda ağır yakıt tüketmeleri; motor teknolojilerinin otomotiv endüstrisi kadar gelişmemiş olması ve son olarak kural koyucuların deniz araçları için salınım sınırlamalarına -otomotiv endüstrisine oranla- daha geç başlamaları sebebiyle, daha yüksek oranlarda zararlı ürün üretmektedir [4].

20. Yüzyıl'ın ikinci yarısından itibaren hükümetler ve çeşitli kural koyucular bu zararlı ürünlerin salınımını sınırlamak için çeşitli düzenlemelere başlamışlardır. İlk olarak A.B.D.'nde başlayan emisyon kısıtlamaları, giderek daha çok önem kazanmış ve günümüzde otomotivden ağır endüstriyel araçlara kadar pek çok alanda tanımlanmışlardır. Bu bağlamda gemi endüstrisi de, hem kullanılacak yakıtların

düzenlenmesi, hem de izin verilen emisyon miktarlarının sınırlandırılması ile bu gelişmelerden etkilenmiştir.

Artan düzenlemeler ve kısıtlamalarla birlikte, belirli emisyon bölgeleri oluşturulmuş, belirlenen emisyon sınırlamalarına uymayan gemilerin de bu bölgelere girmesi yasaklanarak zaman içinde dünya gemi filosunun itki ve emisyon sistemlerini güncellenmesi sağlanmaya çalışılmaktadır. Yeni yapılan çalışmalar, küresel iklim değişikliğinin kontrol edilebilir ve geri döndürülebilir sınırlar içinde kalması için, bu regülasyonların önümüzdeki dönemde artarak devam etmesi gerektiğini de göstermektedir.

Bu tezdeki öncelikli amaç, Türk Boğazları ve Marmara Denizi'nden 2019 ve 2020 yılları içinde uğraklı veya uğraksız olarak geçen gemilerin saldığı zararlı gaz emisyonlarını güncel regülasyonlara uygun şekilde hesaplamak ve çevre üzerine etkileri göstermektedir. Gemiler, tür ve çeşitlerine göre ayrılarak hangi sınıfın - dolayısı ile hangi ekonomik aktivitelerin- çevre üzerine daha büyük bir etkisi olduğu da bu çalışmanın konusu dahilindedir. Bir sonraki adımda ise ileri de gidilerek, emisyon standartlarının daha da iyileşmesi senaryosu değerlendirilip sonucunda elde edilecek kazanım da gösterilecektir.

1.2. Literatür Araştırması

Trozzi, istatistiki emisyon hesaplama yöntemini ilk olarak İtalyan Limanları için ortaya koymuştur [5]. Bu çalışmada, gemilerden çıkan emisyonun hesaplanabilmesi için gerekli katsayılar ve hesaplama yöntemi ilk olarak ortaya çıkmıştır.

Lepkowski, IMO adına emisyon katsayıları üzerine çalışmış ve daha sonra gelecek NO_x regülasyonları için öncül olmuştur [6].

1997 yılında imzalanan Kyoto Protokolü, hava ve gemi trafiğı kaynaklı emisyonlarının raporlama ve düzenlenmesinden Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu ve Uluslararası Denizcilik Organizasyonu'nu sorumlu tutmuş ve bu faaliyetleri Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne bağlamıştır [7]. Bu tarihten sonra istatistiki emisyon hesaplaması konusunda çalışan kişi ve kurum sayısı artmıştır.

ENTEC 2002 yılında Avrupa Birliğı için bir emisyon envanteri oluşturmuş; ölçümler, regülasyonlar ve sektör öncüleri ile konuşarak emisyon katsayıları ve makine yükleri

farklı fazlar için belirlenmiştir [8]. Daha Sonra bu katsayılar yeni regülasyon ve teknik gelişmeler ışığında güncellenmiştir [9].

EPA emisyon hesaplama yöntemleri ve kullanılacak katsayılar için 2009'da emisyon veritabanı oluşturmuştur [10]. Bu veritabanı son olarak 2019'da gelişen regülasyon ve hesaplama yöntemlerini kapsayacak şekilde güncellenmiştir [11].

EMEP, ilk olarak 2006 yılında emisyon veritabanı oluşturmuştur [11]. Bu veri tabanı sırasıyla 2007, 2009, 2013, 2016 ve 2019 yıllarında güncellenmiştir [12 - 16].

Yapılan bu çalışmalar, istatistiki emisyon hesaplanması için genel hatları oluşturduktan sonra bu konudaki çalışmalar hem ülkemiz hem de dünyanın farklı su yolları ve limanları için yapılmaya başlanmıştır.

Kesgin, Boğazlar Bölgesi için emisyon hesaplarını, 1998 yılı verileriyle İstanbul ve Çanakkale Boğazları için yapmıştır [17]. Bu çalışma'da Seviye 2 yaklaşımı kullanılmıştır.

Deniz 2003 yılı verileriyle, Kesgin'in çalışmasına benzer şekilde Marmara Bölgesi için çalışmayı tekrarlamış; Marmara'daki gemi hareketlerini de dikkate alarak daha detaylı sonuçlar bulmuştur [18].

Ergin, 2010 yılında Türk Boğazları ve Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı emisyonları hesaplamıştır [19]. Kuzeyde Karadeniz'den, güneyde Ege Denizi'nden Boğazlar yolu ile Marmara'ya giriş yapan uğraklı ve uğraksız gemiler ile Marmara içinde faaliyet gösteren gemilerin etkisi ortaya konmuştur.

Kılıç, Marmara'daki emisyonları kara, deniz ve hava ulaşımı için hesaplamış ve bunun özellikle sağlık üzerine olan etkilerini ortaya koymuştur [20].

Ay, 2010-2017 yılları arasında İstanbul Boğazı'nda gemi kaynaklı emisyonları hesaplamıştır [21]. Coğrafi olarak en kısıtlı çalışma olsa da en uzun süreli olması sebebiyle denizcilik sektörünün gelişimini göstermesi açısından önemli bir çalışmadır.

1.3. Kapsam

Temel olarak, emisyon hesaplarının yapılabilmesi için gemilerin hareket bilgileri ve gemiye özgü (kurulu ana makina tipi, devir sayısı, gücü ve gemi yapım yılı gibi) büyüklüklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgilerden hareket ile ilgili olanları, Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden (KGEM) alınabilmektedir.

2021 yılı boyunca yapılan çeşitli (kişisel ve kurumsal) müracaatlar sonucunda 2019 ve 2020 yıllarında Türk Boğazları ve Marmara Denizi'nden geçen gemilerin listesi KEGM tarafından sağlanmıştır. Listede aşağıda listelenen bilgiler verilmiştir:

- Gemi Adı
- International Maritime Organisation Numarası
- İstanbul veya Çanakkale Boğazı'na giriş zamanı
- İstanbul veya Çanakkale Boğazı'ndan çıkış zamanı
- Marmara'da konaklama süresi
- Deklare hızı
- Transit geçiş durumu
- Yük durumu

KGEM tarafından sağlanan listelerdeki gemilerin isimleri ve IMO numaraları, İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Fakültesi tarafından sağlanan gemi veritabanıyla eşleştirilmiş ve hesaplama için gereken gemi yapım yılı, ana makina gücü, servis hızı gibi bilgiler bulunmuştur.

Hesaplamalar yapılırken, 3. Derece Yaklaşım kullanılarak her geminin seyahati esnasında tükettiği yakıt miktarı ve çıkardığı zararlı gazlar hesaplanmış ve sunulmuştur. Hesaplama yapılırken, IMO MARPOL Ek VI'ya uygun olarak emisyon limitleri kullanılmıştır. Bu bağlamda gemilerin üretim yılları, motor tip ve hızları, emisyon katsayılarının belirlenerek daha doğru bir hesaplama yapılmasına olanak sağlamıştır. Emisyon faktörleri için Avrupa Birliği'nin kabul ettiği emisyon faktörleri kullanılmıştır. Hava koşulları ve akıntı hızındaki değişim ise çalışma kapsamında değerlendirilmemiştir.

1.4. Hipotez

Gelişen emisyon regülasyonları ve emisyon teknolojileri ile birlikte Boğazlar Bölgesi'ndeki gemi trafiği kaynaklı emisyonların azalması beklenmektedir. Özellikle 2020 yılında devreye giren düşük sülfür oranlı temiz yakıtlar sayesinde SO_x ve PM gibi önemli kirleticilerin değerlerinde iyileştirmeler olmalıdır. NO_x emisyonları için

de, özellikle 2010 ve sonrasında üretilmiş gemiler için geçerli olan Tier II emisyon seviyelerinin etkisi ile toplam emisyonlarda azalma beklenmektedir.





2. GEMİ EMİSYONLARININ OLUŞUMU VE ETKİLERİ

2.1. Emisyon Oluşumu

Enerji üretip yararlı işe dönüştürmek için temel yöntem bir yakıtın yakılarak ortaya ısı enerjisi çıkarılmasıdır. Ancak bu yanma sırasında hem yanma her zaman doğru verimle gerçekleşemediği için, hem yarı yanmış mamüller hem de yakıt ve havada bulunan bazı kirletici veya ek maddeler sebebiyle istenmeyen ürünler gaz veya parçacık olarak atmosfere salınmaktadır. Bu emisyonları “Yanma Kaynaklı” ve “Yakıt Kanaklı” olarak incelemek mümkündür.

2.1.1. Yanma kaynaklı emisyonlar

İçten yanmalı motorların çalışması dinamik koşullar altında olmaktadır. Değişik yük ve devir sayılarında yanma odasına giren yakıt ve hava miktarı değişmekte, bu da yanma sıcaklık ve basınçları arasında farklar meydana getirmektedir. Yanma karakteristiği yanma odası tasarımıyla da doğrudan ilintili olduğu için emisyon oluşumu motor tipi, kullanılan yakıt türü, sıkıştırma oranı, devir sayısı gibi faktörlere göre farklılık göstermektedir.

Temel olarak, makine görece büyük yükler altında iken yanma daha verimli gerçekleşmektedir. Ayrıca, aşırı doldurma, artan sıkıştırma oranları ve gelişen enjeksiyon sistemleri ile yanma verimi arttıkça yanma sıcaklık ve basınçları da artmaktadır. Özellikle dizel motorlarda sıkıştırma oranları (ve dolayısıyla silindir içi basınçlar) çok yüksek mertebelere ulaştığı için, yakıtın oranca daha fazlası yakılmaktadır. Bu sebeple CO ve PM, BC ve HC emisyonları, yanma kalitesi arttıkça azalmaktadır.

Karbon ve hidrojen yanmanın temel yakıtıdır. Fosil yakıtların kütlece yaklaşık % 97’si hidrojen ve karbondan oluştuğu için yakıttaki karbon oranının neredeyse tamamı karbon dioksit ve su buharı olarak atılmaktadır.

Yanma için gerekli havanın %78’i azottan (N_2) oluşmaktadır. Normal şartlar altında birbirine bağlanarak inaktif halde olan azot atomları, yanma sırasındaki yüksek basınç ve sıcaklıklar sebebiyle birbirlerinden ayrılır ve yanıcı olarak kullanılırlar. Bu sebeple,

örneğin otomotiv sektöründe, özellikle dizel motorlu taşıtlar için yanan azot bileşiklerini tekrar N_2 'ye çevirecek emisyon sistemleri bulunmaktadır.

Çizelge 2.1'de bu kirleticiler açıklamaları ile birlikte verilmişlerdir.

Çizelge 2.1 : Yanma Kaynaklı Emisyon Türleri.

Kirletici	Açıklama
CO ₂	Fosil yakıtların yanması sonucu ana bileşen olan karbon'un tam yanmış halidir. Solunması zararsızdır. Ancak sera gazı etkisine sahiptir
CO	Yeterli temiz hava beslenemediğinden yanma verimi düştüğünde karbonun tamamen yakılamaması sonucu oluşmaktadır. CO ₂ aksine zehirleyici mahiyettedir
NO _x	Yanma verimi yüksek olduğunda atmosferdeki azotun (N_2), yüksek sıcaklık ve basınç altında yanması sonucu oluşmaktadır. Asit yağmurlarına sebep olmaktadır.
PM	Yakıt taneciklerinin dış çeperlerinin yanarak tanecik etrafında ısıya dayanıklı koruyu bir katman oluşturması ile tanecik olarak atmosfere salınmaktadır. PM _{2.5} ve PM ₁₀ olmak üzere iki sınıfa ayrılır. İsimlendirmedeki sayılar mikro-metre cinsinden tanecik çapıdır. Parçacıklar, çok küçük olmaları sebebiyle hem emisyon alanından uzaklara taşınabilir hem de solunum yoluyla akciğerlere yerleşebilmektedir. Ayrıca yapısı gereği kanserojendir.
BC	Siyah karbon, yakıt içindeki uzun karbon zincirlerinin tam yanmadan atılması ile oluşur. Temel olarak PM _{2.5} 'in bir alt grubuna dahildirler. Kanserijen etkisi olduğu gibi sera gazı etkisi de çok tehlikelidir
NMVOC	Metal olmayan kararsız organik bileşikler, yanma esnasında yetersiz hava beslemesi sebebiyle bir kısım yakıtın tam olarak yanmaması sonucu oluşmaktadır. Yanma bütünüyle gerçekleşemediği için bu moleküller hala kimyasal olarak reaktiftirler. Bu parçacıklar hem sera gazı etkisine hem de kansere sebep olmaktadır.

2.1.2. Yakıt kaynaklı emisyonlar

Günümüzde ulaşım için kullanılan enerji kaynaklarının önemli bir kısmı fosil yakıtlardır [4]. Bu yakıtlar çok uzun süreler toprak altında kaldıklarından ötürü de belirli bir kısım mineral de ihtiva ederler. Bu minerallerin tümü yanıcı nitelikte değildir. Yakıt içinde bulunan bu maddeler ve yakıt içindeki kütlece oranları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Yakıt kaynaklı emisyonlar, yakıt içinde bulunan ve aslında reaksiyonda istenmeyen maddelerin yanması sonucu oluşurlar. Yakıt içindeki konsantrasyonları ile doğru orantılı olarak salınım gerçekleşir. Görüldüğü gibi bu kirleticilerin yakıt içindeki kütlece oranları aslında çok küçüktür [16].

Çizelge 2.2 : Yakıtı Bağlı Emisyonlar ve Oranları.

Kirletici adı	Kirletici / Yakıt oranı (g/g)
Pb	1,30E-07
Cd	1,00E-08
Hg	3,00E-08
As	4,00E-08
Cr	5,00E-06
Cu	8,80E-09
Ni	1,00E-06
Se	1,00E-07
Zn	1,20E-06
PCDD/F	1,30E-10
HCb	8,00E-11
PCB	3,80E-10

Çizelgede verilmeyen kirleticiler ise SO_x bileşikleridir. Bu bileşikler, atmosferde su ile birleşerek düşük konsantrasyonda da olsa sülfürik asit oluşuma ve asit yağmurlarına sebep olmaktadır. Ayrıca, yakıt oranında sülfür miktarının artışı PM emisyonlarına da doğrudan etki etmektedir.

Yakıttaki bu kirletici maddeler, rafinerilerde daha karmaşık distilasyon yöntemleriyle ayrıştırılabilmektedir.

2.2. Emisyonların Etkileri

Enerji üretme faaliyetlerinin sonucu olarak doğaya salınan toplamda milyonlarca ton kirleticisi, önce lokal sonra küresel ölçekte hem çevreyi hem de insan sağlığını etkilemektedir.

2.2.1. Çevresel etkiler

Emisyonların çevresel etkileri, kirleticilerin doğa ile etkileşime girmeleri sonucu ortaya çıkar. Enerji üretimi sonucu doğaya salınan gazlar, öncelikle salınımın gerçekleştiği alanı kirlendirir. Ancak salınımların gaz halde ve sıcak oluşları sebebiyle salınımın yapıldığı alandan daha ötesini de etkilemektedirler. Salınımın gaz halde olmadığı parçacık salınımlarında da, parçacık yere inmeden uzun mesafeler kat edebilir.

2.2.1.1. Hava kalitesi

Yanma sonucu salınan kirleticiler yüksek sıcaklıkta ve gaz halde bulunmaktadır. Bu sıcaklığın etkisi ile ilk etapta yükselen kirleticiler, hava olaylarının da etkisiyle dağılarak daha geniş alanlara yayılmaktadırlar.

Hava kalitesinin tayini için havada m³ başına düşen kirleticisi kullanılmaktadır. 2008 yılında devreye giren Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) ile takibi yapılan kirleticiler aşağıdaki gibidir [22]:

- PM₁₀
- SO₂
- NO₂
- NO_x
- CO
- O₃ (Alt tabaka ozonu)

Çizelge 2.3'te HKDYY'ne göre saatlik, günlük ve yıllık bazda sınır hava kirliliği değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.3 : HKDYY’ne Göre Hava Kirlilik Limitleri.

KİRLLETİCİ	ORTALAMA SÜRE	ULUSAL SINIR DEĞERLER ($\mu g/m^3$)
PM ₁₀	Günlük	50
	Yıllık	40
SO ₂	Saatlik	350
	Günlük	125
	Yıllık	20
NO ₂	Saatlik	200
	Yıllık	40
NO _x	Yıllık	30
CO	8 Saatlik Ortalama	10.000
O ₃	8 Saatlik Ortalama	120

2.2.1.2. Alt tabaka ozonu

Ozon (O₃) üç atomlu oksijen molekülüdür. Kokusuz ve renksizdir. Kızılötesi ışıma ile oksijen molekülüne ek bir atom eklenmesi yoluyla oluşur. Normal şartlar altında, güneşten dünyaya ulaşan kızıl ötesi ışıma stratosferde sönmüldüğü için toprak seviyesinde ozon oluşumu olmamaktadır. Ancak özellikle kararsız organik bileşik emisyonları ve azot oksitlerin güneş ışığının da yardımı ile oksijen ile tepkimeye girmesi ile ortaya çıkmaktadır.

Ozon miktarı 0,1 PPM olduğunda özellikle gözleri tahriş etmeye başlar. Bu seviye 0,15 PPM civarına çıktığında astım ve benzeri solunum yolu hastalıklarından muzdarip kişilerde solunum güçlüğü ortaya çıkmaktadır [23].

Ayrıca alt tabaka ozonu, bitki örtüsüne de zarar vermektedir. Bu durum ormanların zarar görmesi kadar tarımsal çıktının da azalması anlamına gelmektedir.

2.2.1.3. Parçacık maddeler

Parçacık maddeler, yanma sonucu salındıklarında sıcak gaz bulutu içinde doğrudan yere düşmezler. Havada geçirdikleri süre, parçacıkların çaplarının karesi ile ters

orantılıdır [23]. Özellikle, tane çapı 2.5 µm altında olan, ince tanecikler günlerce yere düşmeden yol kat edebilirler.

Parçacık madde salınımının en önemli etkisi, solunum yollarına nüfuz etmesidir. Parçacık boyutu küçüldükçe nüfuziyet artmaktadır.

2.2.1.4. Fotokimyasal sis

Fotokimyasal sis, yanma sonucu salınan sıcak gazların önce yükselerek soğuması ve bu sebeple aşağı inerek yer seviyesinde toplanır. Güneş ışınlarındaki kızılötesi ışımanın ozon, NO_x emisyonlarına bağlı olarak oluşan nitrik asit ve hidrokarbonlardan yansıması ile oluşan sarımsı bir sis olarak görülür. Şekil 2.1’de Çin’in Şangay kentindeki fotokimyasal sis gösterilmiştir [24]. Fotokimyasal sis, rüzgar ile dağılabilmekte olduğundan, yeterli rüzgarı alamayan yerleşim yerleri için özellikle sorun olmaktadır.

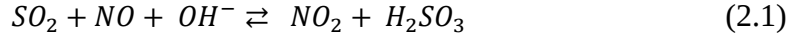


Şekil 2.1 : Fotokimyasal Sis – Şangay, Çin.

Genellikle kötü bir kokuya da sahip olan fotokimyasal sis, özellikle NMVOC oranlarının yüksek olması durumunda bitkiler için de zarar verici nitelikte olmaktadır [23].

2.2.1.5. Asit yağmurları

NO_x ve SO_x emisyonları havadaki su buharı ile etkileşime girerek nitrik asit (HNO₃) ve sülfürik asit (H₂SO₄) oluşumuna sebep olmaktadır. Havada oluşan sülfürik ve nitrik asitler yoğunlaştığında, yağmurun pH değeri 5'in altına inmektedir.



Normal şartlarda yağmur yağarken havadaki su buharının karbon dioksit ile etkimeye girmesi ile yağmurun pH değeri 5 civarına düşmektedir.



Bu sebeple asit yağmuru, NO_x ve SO_x konsantrasyonunun artması ile yağmura eklenen sülfürik asit ve nitrik asit molekülleri ile yağmur pH'nın 5'ten az olduğu durumlardaki yağmura verilen isimdir.

Asit yağmurları temiz su kaynaklarının kirlenmesine sebep olur. Ayrıca bitki örtüsü ve toprağa da zarar vermektedir.

2.2.1.6. Ozon tabakasının delinmesi

Ozon tabakası güneşten gelen ışınların yüksek enerjili olanlarını filtreleyen katmandır. Dünyanın ilk evrelerinde ozon tabakası henüz oluşmamışken bu kızılötesi ışınların okyanus yüzeylerindeki su buharındaki bağları kırarak oksijenlerin 3'lü gruplar halinde birbirlerine bağlanması sayesinde oluşmuştur.

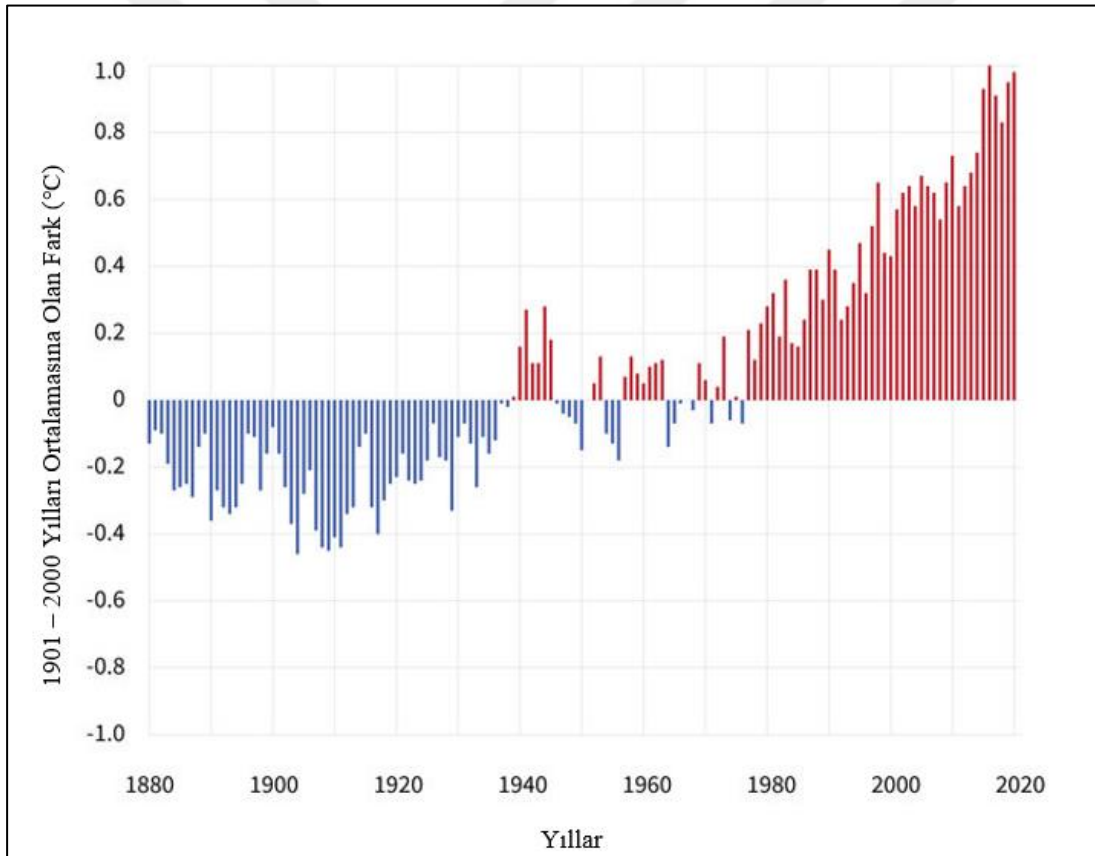
Ozon molekülleri, azot oksit (NO_x) kloro-floro-karbonlar (Chloro-Fluoro-Carbons, CFCs) ile aynı ortamdayken yüksek enerjili ışınlarla maruz kaldıklarında bir oksijen atomlarını kaybederek oksijen molekülüne dönüşmektedirler. Oksijen molekülü kızılötesi radyasyonu yansıtamadığı için dünyanın etrafındaki kızılötesi kalkan kaybolmaktadır [23].

Ancak, kızılötesi ışınlar tekrar dünyanın yüzeyine ulaşmaya başladığında su buharından ozon oluşum mekanizması tekrar baskın hale geldiği için ozon tabakasındaki delinmeler, tabakanın kendini yenileme hızından düşük olduğu sürece uzun vadede kalıcı bir hasar bırakmayacaktır.

2.2.1.7. Küresel ısınma

Dünya atmosferi %78 azot, %21 oksijen ve %1 de diğer gazlardan oluşmaktadır. Dünyaya güneşten gelen enerjinin yaklaşık %30'u atmosferdeki gaz moleküllerinden yansıtılmaktadır. Bu yansıma, dünyanın enerji dengesinin korunmasında, dolayısıyla ortalama sıcaklıkların belirli düzeylerde kalmasında kritik bir rol oynamaktadır. Diğer gazlardan bazıları güneşten gelen ışımaya karşı saydam iken, atmosferden yansıyan uzun dalga boylarına karşı opaklardır. Bu sebeple yansıyan enerjinin bir kısmını tutmaktadırlar. Bu gazlara “sera gazı” denmektedir [23].

Şekil 2.2’de 1880 yılından 2020 yılına dek yıllık ortalama sıcaklıkların 20. yüzyıl ortalamasına olan farkları verilmiştir [1]. Buna göre özellikle 1940 yılından itibaren yüzey sıcaklıklarının artış trendinde olduğu görülmektedir.



Şekil 2.2 : Dünya Yüzey Sıcaklıklarının Ortalamaya Göre Farkları.

Sera gazı etkisiyle ortalama sıcaklıkların artması, kutup buzullarının erimesine sebep olmaktadır. Bu erime sonucunda:

- Deniz suyu sıcaklıkları düşmekte,
- Deniz suyu sıcaklıklarının değişimi sebebiyle deniz suyu ile ilişki haline olan atmosfer olayları daha şiddetli yaşanmakta,
- Deniz seviyesi yükselerek liman şehirlerini tehdit etmektedir.

2.2.2. İnsan sağlığı üzerine etkileri

Artan kirletici konsantrasyonu sebebiyle hava kalitesinin düşmesi, insanların kirleticilere daha çok maruz kalması anlamına gelmektedir. Maruz kalınan kirleticinin konsantrasyonu, sağlık üzerine olan olumsuz etkileri ağırlaştırmaktadır. Genellikle önce iritasyon ve tahriş ile başlayan semptomlar, maruz kalan doku veya organın maruz kalınan kirleticiye karşı olan hassasiyetine göre daha ciddi hale gelebilmektedir. Kirletici konsantrasyonu gibi maruziyet süresi de semptomların ciddiyetini etkileyen bir diğer faktördür. Kirletici konsantrasyonu ile aynı şekilde, maruziyet süresi de arttıkça semptomların ciddiyeti artmaktadır. Bu sebeple HKDYY'ne göre hava kirlilik oranları süre bazlı olarak verilmektedir.

Kirletici tanecik boyutu küçüldükçe, taneciklerin doku ve organlara penetrasyonu ve tutunma oranları artmaktadır. Örneğin PM_{2,5} emisyonları, PM₁₀ emisyonlarına göre akciğerlerde daha derinlere yerleşip daha uzun tutunmaktadır.

Kirleticilerin insan vücuduna giriş noktası genellikle solunum sistemi olmaktadır. Bu sebeple çoğu kirletici öncelikle solunum yolu hastalıklarına sebep olmaktadır.

Ozon maruziyeti, ozonun solunum yollarındaki dokuyu tahriş etmesi sebebiyle, kuru öksürük ile kendini gösterir. Anfizem ve astım gibi engelleyici akciğer hastalıkları olanlar ozon maruziyetinde solunum güçlüğü yaşamaktadırlar.

Azot oksitler de benzer şekilde solunum yollarındaki mukozayı tahriş ederek kuru öksürüğe sebep olmaktadır. Daha yüksek miktarlarda NO_x maruziyetinde, kirletici, alveollere ulaşarak alveol hasarına sebep olur. İleri seviyelerde ölümcüldür.

Sülfür oksitler, aynı ozon ve azot oksitler gibi solunum yolu mukozasına zarar vererek iritasyona sebep olmaktadır. Bu iritasyon sebebiyle kuru öksürük oluşmaktadır. Ayrıca

burun yollarındaki mukozanın tahriş olması burun kanamasına; mukoza bezlerinin uyarılması ise fazla tatak oluşumuna sebep olmaktadır.

Karbon monoksit, oksijene göre yaklaşık 250 kat daha aktif olduğundan solunduğunda kandaki oksijen taşıyıcı hücre olan hemoglobinleri hızlıca bağlayarak kanın oksijen taşımaya engel olmaktadır [23]. Düşük dozlarda maruziyet durumunda, kandaki oksijen konsantrasyonunun düşmesi ile baş ağrısı, halsizlik ve uykuya sebep olurken, yüksek dozda maruziyet ölüme sebebiyet vermektedir.

Solunum sistemi genellikle kirleticilerin ilk temas noktası olsa da vücuda giren kirleticiler diğer doku ve organlarda da hasara sebep olmaktadır. Metalik kirleticiler böbreklerde ve sinir sisteminde tahribata sebep olurken, organik bazlı kirleticiler (özellikle kararsız organik bileşikler) kanser oluşumunda, kemik doku ve karaciğer tahribatında etkindir [23].

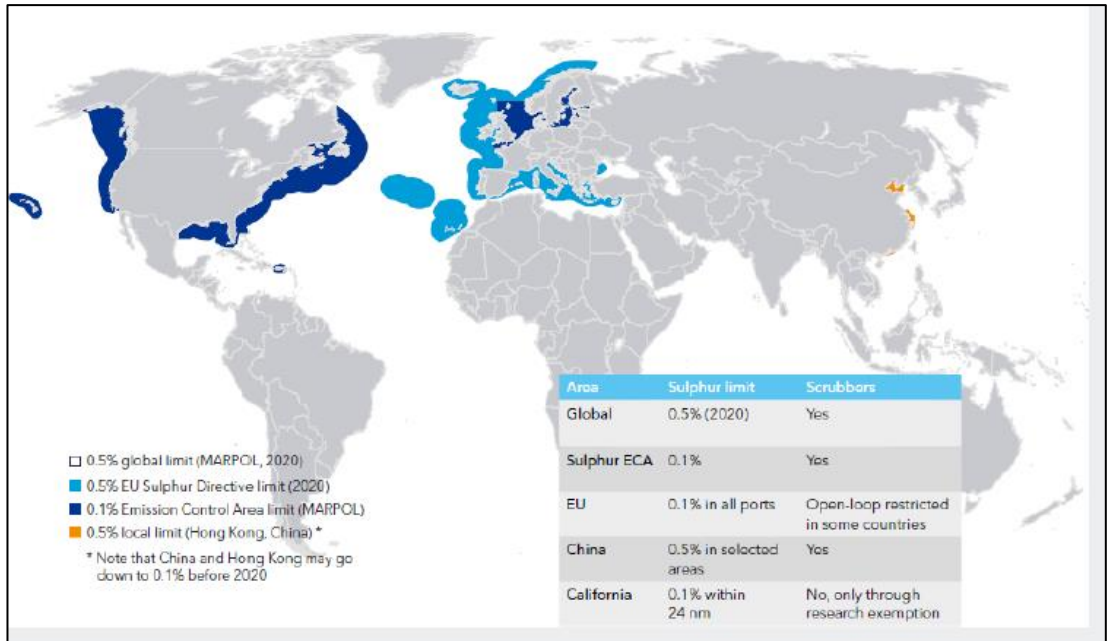
3. GEMİ EMİSYON KURALLARI

Gemi emisyonları global karbon emisyonları içinde görece küçük bir orana sahip olsa da hem yerleşim yerleri ile iç içe olması hem de diğer emisyon kaynaklarına göre daha az düzenlenmiş olması sebebiyle önemlidir.

3.1. IMO MARPOL Ek VI

Denizcilik kaynaklı emisyonlarla mücadele konusunun Kyoto Protokolü ile Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne de girmesinden hemen sonra, 1997 yılında MARPOL Ek VI yayınlanarak başta SO_x ve NO_x olmak üzere zararlı gaz salınımlarına limitler getirilmeye başlanmıştır.

IMO'nun Deniz Çevresini Koruma Komitesi (Marine Environment Protection Committee, MEPC), 2005 yılında, MARPOL Ek VI'ya düzeltmeler yapma kararı almıştır [25]. Üç yıllık izleme sonucunda MARPOL Ek VI değiştirilmiş ve "NO_x Teknik Kuralları - 2008", 1 Ocak 2010 tarihinden itibaren devreye girecek şekilde yayınlanmıştır [26]. Ayrıca Gene MARPOL Ek VI ile Emisyon Kontrol Alanları (Emission Controlled Area, ECA) tanımı yapılmıştır (Şekil 3.1).

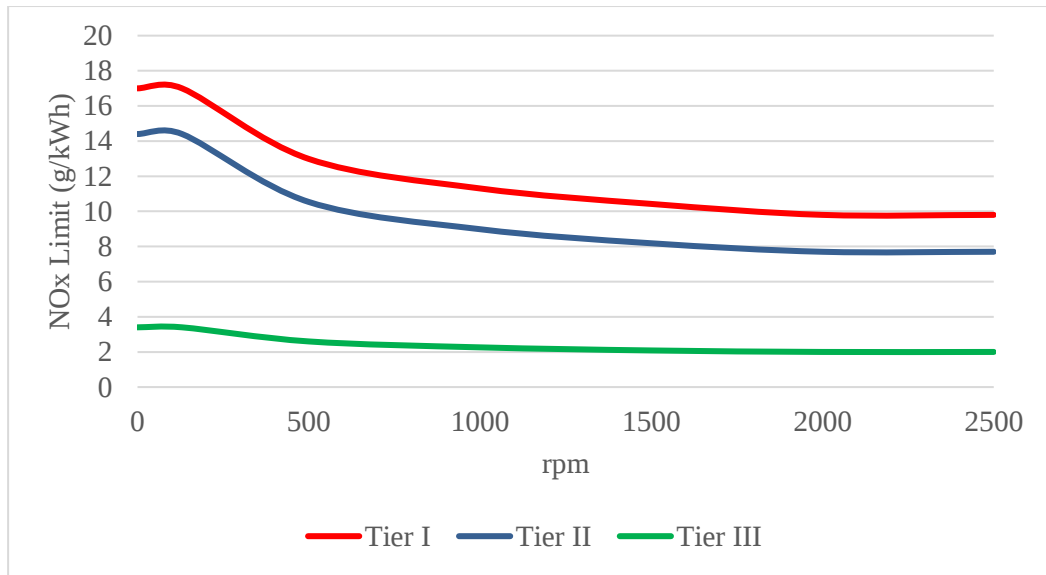


Şekil 3.1 : ECA Sınırları.

NO_x Teknik Kuralları 2008 çerçevesinde izin verilen NO_x Limitleri, Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu kurallara göre Tier III emisyon limitleri sadece ECA bölgelerinde geçerli olacaktır. Şekil 3.2’de özellikle 130 – 2000 devir/dakika motor hızına sahip gemiler için NO_x limitleri görselleştirilmiştir [25]. Burada n , kurulu makinenin güç devridir.

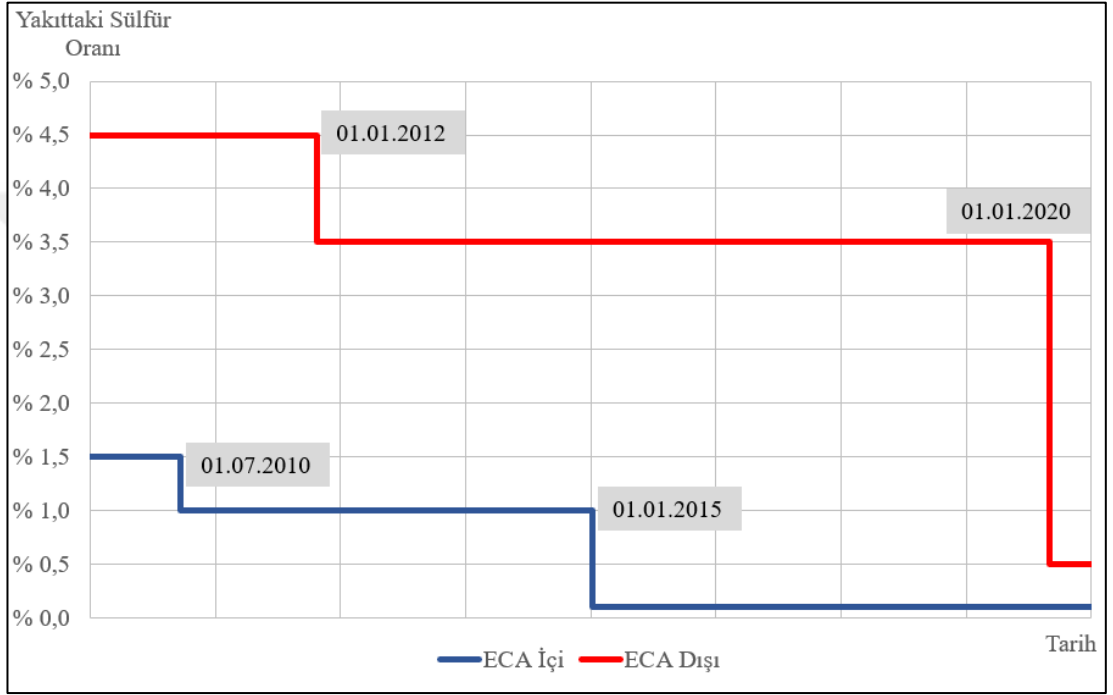
Çizelge 3.1 : NO_x Limitleri.

	Sınırlar	Nox Limit (g/kWh)	rpm
		17	$n < 130$
Tier I	1.1.2000 Sonrası Gemiler	$45 \times n^{-0,2}$	$130 \leq n < 2000$
		9,8	$2000 \leq n$
		14,4	$n < 130$
Tier II	1.1.2011 Öncesi Gemiler	$44 \times n^{-0,23}$	$130 \leq n < 2000$
		7,7	$2000 \leq n$
		3,4	$n < 130$
Tier III	1.1.2016 sonrası Gemiler	$9 \times n^{-0,2}$	$130 \leq n < 2000$
		2	$2000 \leq n$



Şekil 3.2 : NO_x Emisyon Katsayıları.

MARPOL Ek VI'ya yapılan düzenlemelerle hem globalde hem de ECA içi ve dışı bölgelerde getirilen yakıt sülfür oranı sınırlaması Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Buna göre ECA içi için 1 Temmuz 2010 yılı itibariyle, daha önce %1,5 olan maksimum sülfür oranı önce %1'e, 1 Ocak 2015 itibariyle de %0,1'e indirilmiştir. ECA dışında kalan bölgelerde ise başta %4,5 olan sülfür oranı limiti, 1 Ocak 2012 itibariyle %3,5'e, 1 Ocak 2020 tarihi itibariyle ise %0,5'e indirilmiştir.



Şekil 3.3 : MARPOL Ek VI'ya Göre Yakıt Sülfür Yüzdesi (g/g) limitleri.

Türkiye, MARPOL Ek VI'yı 2014 yılında kabul ettiğinden, Türk Denizlerinde seyahat eden gemilerin MARPOL Ek VI'da belirtilen limit değerlere uyması gerekmektedir.



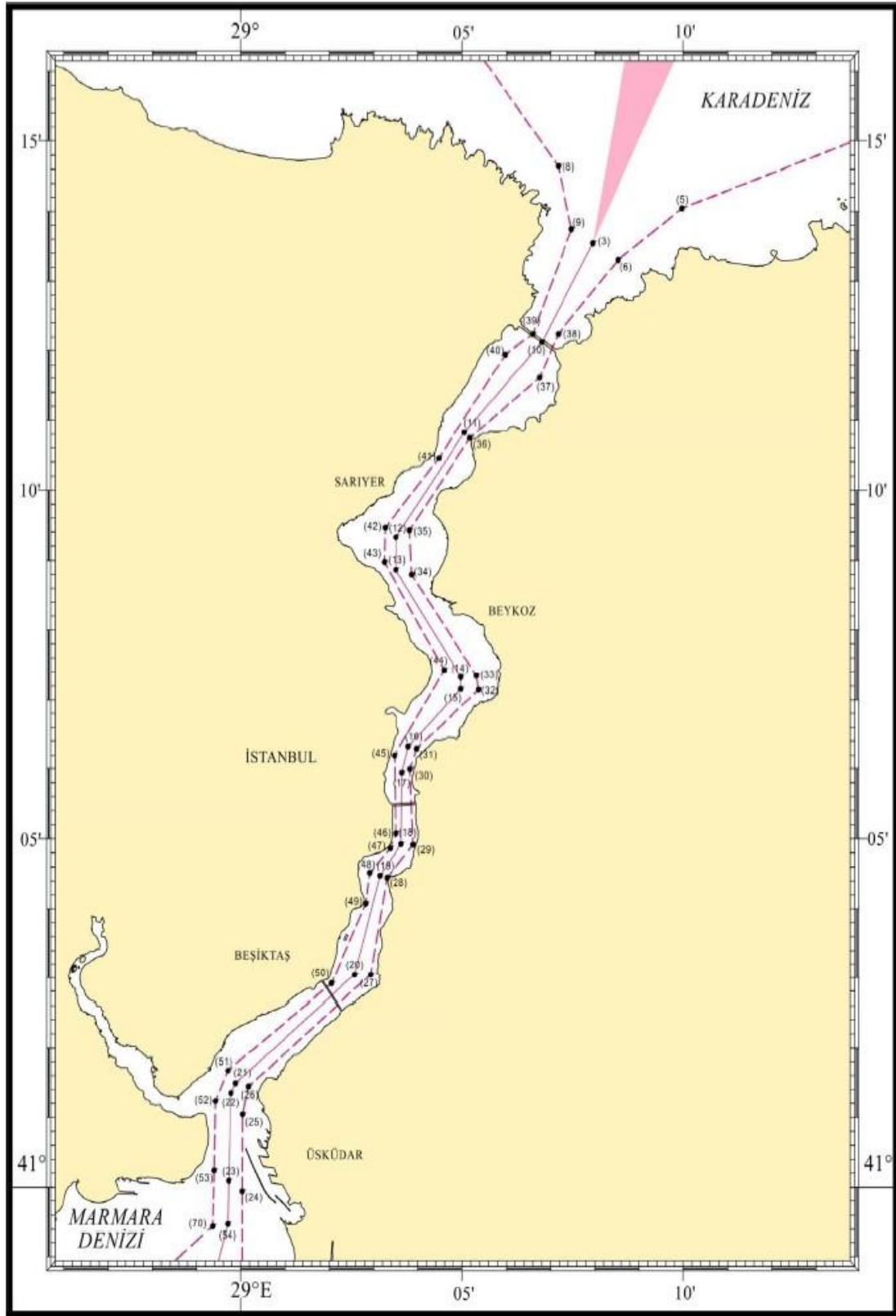
4. BOĞAZLAR BÖLGESİ VE GEMİ TRAFİĞİ

4.1. İstanbul Boğazı

İstanbul, kurulduğundan beri dünyanın önemli şehirlerinden biri olmuştur. Bu önem, Asya ile Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan noktada olması kadar Karadeniz'i Akdeniz'e bağlayan su yolu üzerinde olmasından da gelmektedir. Üç tarafı denizlerle çevrili olan şehirde 2020 yılı itibariyle Adrese Dayalı Nüfus Sayım Sistemiyle 15.462.452 kişinin yaşadığı tespit edilmiştir [27].

İstanbul Boğazı, Karadeniz'den Marmara'ya 31 km uzunluğundadır. Genişliği 700 ila 1500 m arasında değişmektedir. Pek çok sert dönüş ve hemen her zaman güçlü akıntılara sahip olduğu için gemilerin geçerken dikkatli olması gereken bir su yoludur.

İstanbul Boğazı'nda gemi geçişleri, Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği (TBDDTY) ile düzenlenmiştir [28]. Boğaz hattı ve trafik ayırım çizgileri Şekil 4.1'de verilmiştir.

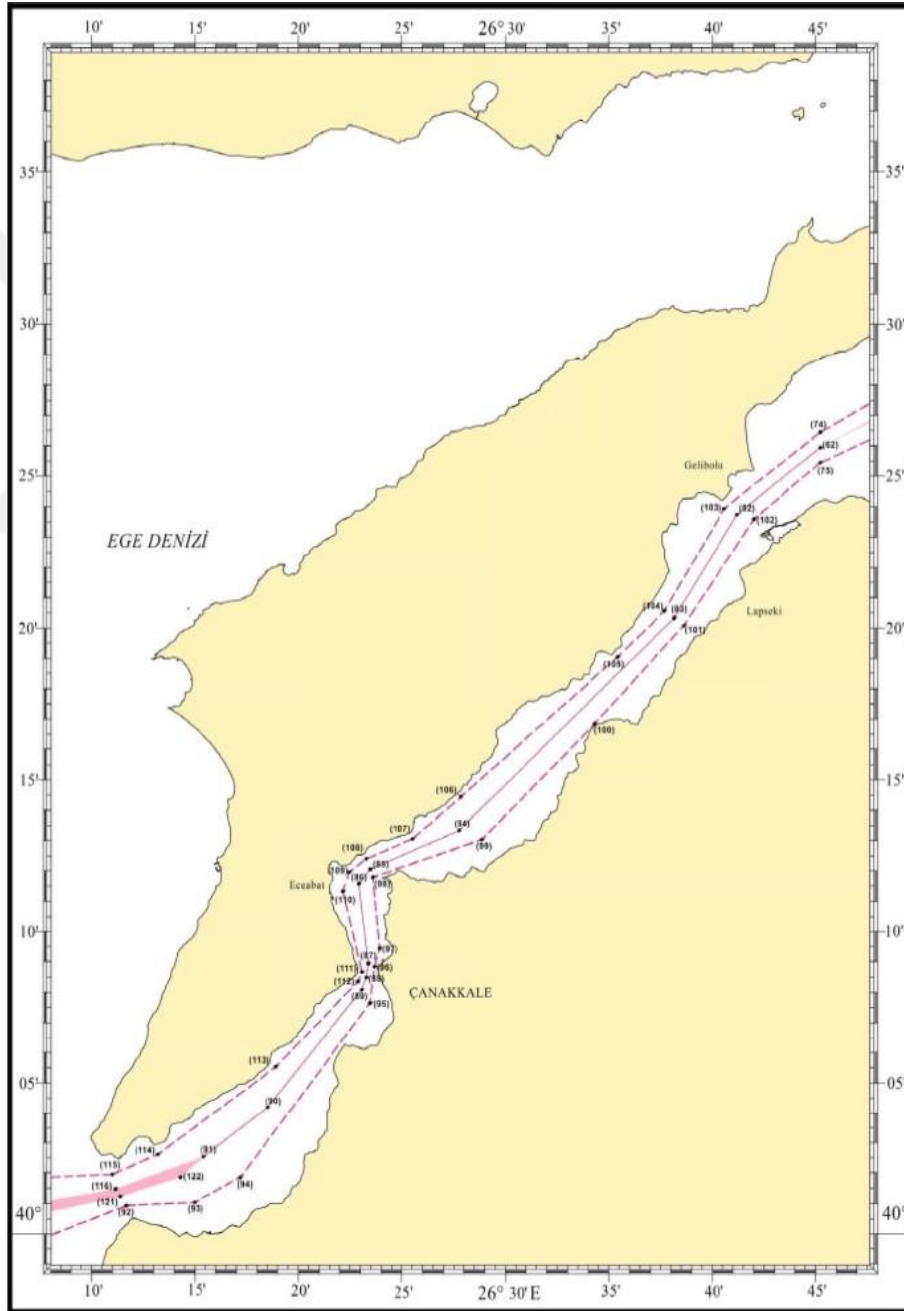


Şekil 4.1 : İstanbul Boğazı Deniz Trafik Rotası.

4.2. Çanakkale Boğazı

Dardanel olarak da bilinen Çanakkale Boğazı, Marmara ile Ege'yi birbirine bağlayan 69 km uzunluğunda bir su yoludur. Çanakkale şehir merkezi, Boğaz'ın doğu yakasında kurulmuş olup şehrin bir kısmı da Boğaz'ın batı yakasında kalmaktadır. 2020 yılı TÜİK verilerine göre Çanakkale'de 541.548 kişi yaşamaktadır [27].

TBDDY ile belirlenen Çanakkale Boğazı Deniz Trafik Hatları Şekil 4.2'de gösterilmiştir [28].



Şekil 4.2 : Çanakkale Boğazı Deniz Trafik Rotası.

4.3. Marmara Denizi

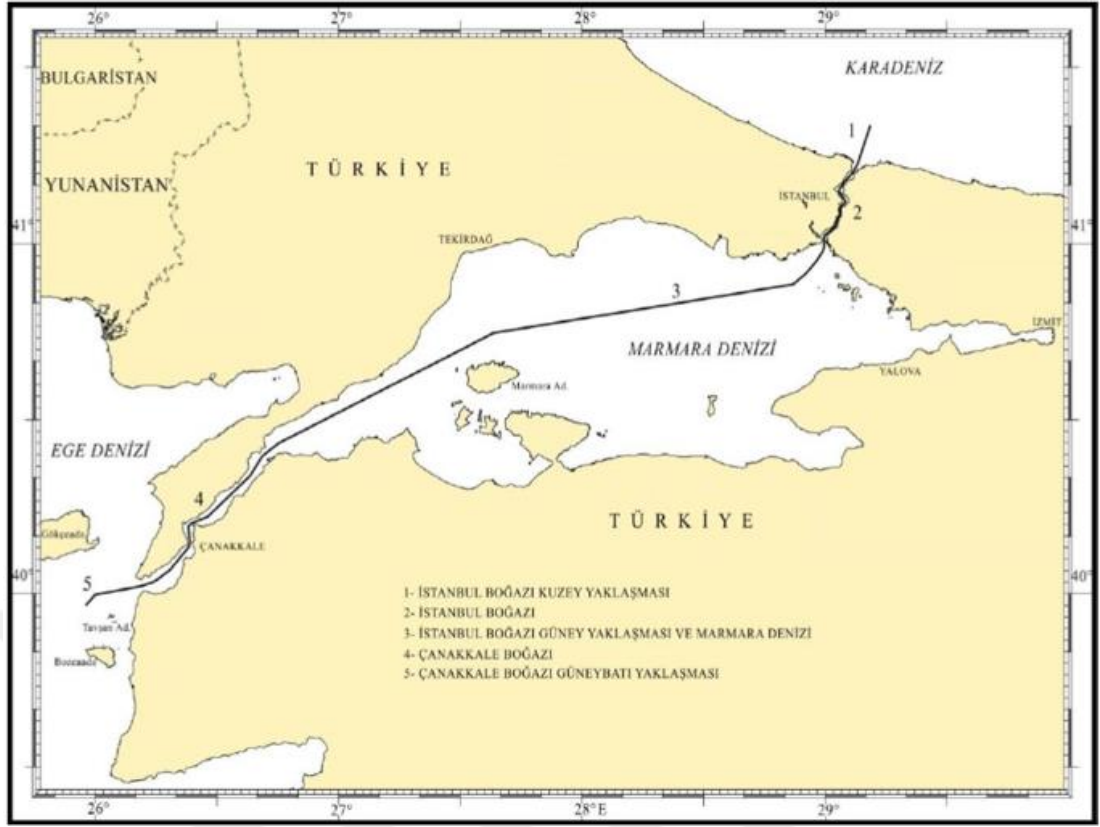
Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale Boğazları arasında kalan bir iç denizdir. Marmara Bölgesi'nde denize kıyısı olan 7 şehirde toplam 23 milyon insana komşuluk yapmaktadır [27]. Kapladığı alan yaklaşık 11.500 km², ortalama derinliği 494 metredir. İstanbul Boğazı'ndan Çanakkale Boğazı'na olan gemi yolu ise yaklaşık 203 km'dir.

Marmara Denizi'nde 5 büyük liman bulunmaktadır. Limanların her iki Boğaz'a olan uzaklıkları Çizelge 4.1'de verilmiştir [18].

Çizelge 4.1 : Marmara Denizi Liman – Boğaz Uzaklıkları.

LİMAN ADI	İSTANBUL BOĞAZI'NA OLAN MESAFE	ÇANAKKALE BOĞAZI'NA OLAN MESAFE	TOPLAM MESAFE
HAYDARPAŞA	0 km	207 km	207 km
BANDIRMA	117 km	170 km	287 km
AMBARLI	28 km	181 km	209 km
İZMİT	102 km	294 km	396 km
TEKİRDAĞ	130 km	102 km	232 km
ORTALAMA	75,4 km	190,8 km	266,2 km

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi, Marmara Denizi'ne uğraklı gelen bir gemi, kuzeyden geliyorsa ortalama 75.4 km, Güneyden giriyorsa 190,8 km yol almak durumundadır. Marmara Denizi'nin TBDDTDY ile belirlenmiş gemi hareket rotası Şekil 4.3'te verilmiştir (28).



Şekil 4.3 : Marmara Denizi Gemi Rotası.

4.4. Gemi Trafikliği

TBDDTY uyarında Türk Boğazlarından geçen bütün gemiler gemi bilgilerini, geçiş zaman ve hızlarını belirtmek zorundadır. Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü de bu istatistikleri tutup yayınlamaktadır. 2019 ve 2020 yıllarında İstanbul Boğazı Gemi Trafikliği İstatistikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir [29]. İdeal şartlar altında uğraksız gemi sayılarının, aynı yıl için, iki Boğaz’da da aynı olması gerekmektedir. Ancak yılın ilk ve son günlerinde giriş yapan gemiler aynı yıl içinde çıkamadığından aradaki farklar meydana gelmiştir.

4.4.1. Gemi tiplerine göre trafik istatistikleri

Çizelge 4.2’de her iki boğazdan da geçen gemilerin gemi tipine göre kırılımı verilmiştir [29]. Buna göre, genel kargo, dökme yük, tanker ve konteyner gemi tipleri gemi trafiğinin %90’dan fazlasını oluşturmaktadır.

Çizelge 4.2 : Gemi Tiplerine Göre Boğaz Trafik İstatistikleri.

	İSTANBUL BOĞAZI		ÇANAKKALE BOĞAZI	
	2019	2020	2019	2020
BARÇ YÜK	570	594	654	683
DÖKME YÜK	8.811	8.594	9.203	9.172
DİĞER	282	215	465	434
ÇİMENTO	9	18	10	17
TANKER	8.396	7.905	9.304	8.830
KONTEYNER	2.642	2.633	5.258	5.222
GENEL KARGO	18.637	16.898	14.827	14.238
HAYVAN NAKİL	534	561	644	625
FERİBOT	2	1	26	30
ASKERİ	196	198	218	203
RO – RO	591	471	1.963	1.660
YOLCU	0	2	96	16
SOĞUTMALI KARGO	59	52	83	76
RÖMORKÖR	270	175	364	332
ARAÇ TAŞIYICI	113	87	644	498
TOPLAM	41.112	38.404	43.759	42.036

4.4.2. Gros tonaja göre trafik istatistikleri

İstanbul ve Çanakkale Boğazları'ndan 2019 ve 2020 yıllarında geçiş yapan gemilerin toplam gros tonajları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Buna göre, 2020 yılında Türk Boğazları'ndan geçen gemi adedi %5 düşerken toplam gros tonaj yalnızca %2 azalmıştır.

Çizelge 4.3 : Türk Boğazları'ndan Geçiş Yapan Gemileri Gros Tonajları.

	2019	2020
İSTANBUL BOĞAZI	638.892.062	619.758.776
ÇANAKKALE BOĞAZI	872.314.222	858.844.972
TOPLAM GROS TONAJ	1.511.206.284	1.478.603.748

4.4.3. Kurulu motor gücüne göre trafik istatistikleri

Çizelge 4.4'te Türk Boğazları'ndan 2019 ve 2020 yıllarında geçiş yapan gemilerin toplam kuru makine güçleri verilmiştir. Gemi geçiş adetleri ile birlikte

değerlendirildiğinde, 2020 yılındaki geçiş adedi yaklaşık %5 azalırken, kurulu makine gücü yaklaşık %6,5 azalmıştır.

Çizelge 4.4 : Türk Boğazları'ndan Geçiş yapan Gemilerin Toplam Kurulu Makine Güçleri (kW).

	2019	2020
İSTANBUL BOĞAZI	274.151.545	256.838.191
ÇANAKKALE BOĞAZI	367.624.591	347.891.156
TOPLAM MAKİNE GÜCÜ	641.776.136	604.729.347

Toplam gros tonaj ile toplam kurulu makine gücü istatistikleri karşılaştırıldığında ise, 2020 yılında boğaz geçişi yapan gemilerin GT/kW oranlarının daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Bu, 2020 yılında dünya gemi filosunun daha da modernize edilerek, daha büyük gros tonajlı gemilerle daha düşük güçlü makinelerin eşleştirilerek daha verimli gemiler inşa edilmeye çalışıldığını göstermektedir.



5. EMİSYON HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

5.1. Hesaplama Yöntemleri

Emisyon Hesaplama yöntemleri “Yukarıdan Aşağı” (Top-Down veya Seviye 1 hesaplama metodu olarak da geçmektedir) ve “Aşağıdan Yukarı” (Bottom-Up veya Seviye 2 ve Seviye 3) olarak iki ana başlıkta incelenebilir [30].

5.1.1. Yukarıdan aşağıya hesaplama

Yukarıdan aşağı metot, Seviye 1 yaklaşımı olarak da isimlendirilmektedir. Gemi emisyonlarını istatistiki olarak hesaplama çalışmalarının ilk başladığı yıllarda gemi hareketleri verilerine bugünkü kadar detaylı ulaşılamazken, bir bölge için toplam yakıt tüketimi üzerinden toplam emisyonların hesaplanması esasına dayanmaktadır. Trozzi, İtalya’nın Piombino Limanı için bu yöntemi uygulamıştır [5]. Bu metotta farklı yakıt tipleri için o yakıt tipine ait emisyon katsayıları tüketilen yakıt miktarıyla çarpılarak o kirletici tipindeki toplam emisyonlar hesaplanmaktadır.

$$E_i = \sum_m FC_m \times EF_{i,m} \quad (5.1)$$

Burada,

- E_i : Hesaplanan kirletici tipindeki (i) toplam salınım miktarıdır.
- FC_m : Bir yakıt türünden (m) harcanan toplam yakıt miktarıdır. Bu toplam belirli bir bölge için yakıt satış bilgileri üzerinden gelmektedir.
- $EF_{i,m}$: Hesaplanmak istenen yakıt tipine (i) ve kullanılan yakıt türüne (m) bağlı olarak gelen emisyon katsayısıdır.

5.1.2. Aşağıdan yukarıya hesaplama

Aşağıdan yukarıya metot ise IMO’nun testleri sonucunda farklı motor yüklerinde farklı emisyonlar çıktığının görülmesi üzerine oluşturulmuştur [6]

Bu metot Seviye 2 ve Seviye 3 olarak iki alt başlıkta incelenmelidir.

5.1.2.1. Seviye 2 hesaplama

Seviye 2 hesaplama yönteminde, emisyonları hesaplanmak istenen geminin ana ve yardımcı makine güçleri bilinmediği ancak geminin sınıfının bilindiği durumlarda kullanılmaktadır. Makine tip ve güçleri geminin tipine göre ortalama değer olarak alınır. Yolculuğun kruz, manevra ve bekleme fazları için makine yükü, tablolardan alınmalıdır. Yukarıdan aşağıya metoda benzer şekilde istenen kirletici için yakıt tüketim değerleri belirli bir gemi tipi için kullanılan yakıta bağlı olarak hesaplanır.

$$E_i = \sum_m \left(\sum_j FC_{m,j} \times EF_{i,m,j} \right) \quad (5.2)$$

Burada:

- E_i : Hesaplanan kirletici tipindeki (i) toplam emisyonlardır
- $FC_{m,j}$: Yakıt tipine(m) ve makine tipine (j) göre kullanılan yakıt miktarı.
- $EF_{i,m,j}$: Hesaplanan kirletici tipine (i) ait yakıt tipi (m) ve makine tipine (j) emisyon faktörüdür

Seçilen yakıt tipindeki toplam tüketimi bulmak için her gemi tipinde kullanılan her makine tipine göre hesap yapılması gerekmektedir.

$$FC_{m,j} = \sum_k P_k \times N_k \times t_k \times \alpha_{m,j} \times \beta_{m,j} \quad (5.3)$$

Burada:

- P_k : Seçilen gemi tipi için ortalama güç
- N_k : Seçilen gemi tipinde geçen gemi sayısı
- t_k : Yolculuk süresi
- $\alpha_{m,j}$: Seçilen gemi tipi için makine ve yakıt tipi kullanım oranı
- $\beta_{m,j}$: Seçilen makine ve yakıt tipi için özgül yakıt tüketim değeridir.

Gemi tipine göre ortalama motor gücü Çizelge 5.1'den alınabilir. Bu noktada dünya gemi filosu verilerinin 2010 yılı itibarıyla verildiğine dikkat çekmek gerekmektedir.

Gemi tiplerine göre geçiş sayıları, incelenmek istenen gemi tipleri için ulusal makamlardan alınmaktadır. Temelde, toplam kurulu makine gücünün hesaplanabilmesi için gereklidir.

Yolculuk süresi incelenen rotada geçilen mesafenin ortalama gemi hızına bölümü ile bulunmaktadır. Gemi tiplerine göre ortalama hızlar (V_k) Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

$$t_k = L/V_k \quad (5.4)$$

Farklı gemi tipleri için farklı motor ve yakıt tipleri kullanılmaktadır. Örneğin tanker ve genel kargo gemileri daha ziyade uzun yol yaptıkları için ağırlıklı olarak düşük devirli makineleri ağır yakıt ile çalıştırmakta iken, yolcu ve RO – RO gemileri daha ziyade orta hızlı makineler kullanmaktadırlar. Gemi tiplerinin hangi motor ve yakıt tipini ne oranda kullandığı bilgisi Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Özgöl yakıt tüketimi, hangi tip makinenin, birim enerji için, ne kadar yakıt harcandığını göstermektedir. Seviye 2 hesaplamalar için kullanılan özgöl yakıt tüketim değerleri Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Gemi Tipine Göre Ortalama Makine Gücü (Dünya Gemi Filosu – 2010).

GEMİ TİPİ	BİRİM	ORTALAMA KURULU MAKİNA GÜCÜ
TANKER	kW	6.543
DÖKME YÜK	kW	4.397
KONTEYNER	kW	14.871
GENEL KARGO	kW	2.555
RO - RO	kW	4.194
YOLCU	kW	10.196
BALIKÇI	kW	734
DİĞER	kW	2.469
RÖMORK	kW	2.033

Çizelge 5.2 : Gemi Tipine Göre Ortalama Hızlar.

GEMİ TİPİ	ORTALAMA GEMİ HIZI (km/h)
TANKER	26
DÖKME YÜK	26
KONTEYNER	36
GENEL KARGO	23
RO - RO	27
YOLCU	39
BALIKÇI	25
DİĞER	20
RÖMORK	20

Çizelge 5.3 : Seviye 2 – Gemi Tiplerine Göre Motor ve Yakıt Kullanım Oranları (%).

	DÜŞÜK DEVİR DİZEL		ORTA DEVİR DİZEL		YÜKSEK DEVİR DİZEL		GAZ TÜRBİNİ		BUHAR TÜRBİNİ	
	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO
TANKER	0,87	74,08	3,17	20,47	0,52	0,75	0	0,14	0	0
DÖKME YÜK	0,37	91,63	0,63	7,29	0,06	0,02	0	0	0	0
KONTEYNER	1,23	92,98	0,11	5,56	0,03	0,09	0	0	0	0
GENEL KARGO	0,36	44,59	8,48	41,71	4,3	0,45	0	0,1	0	0
RO - RO	0,17	20,09	9,86	59,82	5,57	2,23	2,27	0	0	0
YOLCU	0	3,81	5,68	76,98	3,68	1,76	4,79	3,29	0	0,02
BALIKÇI	0	0	84,42	3,82	11,76	0	0	0	0	0
DİĞER	0,48	30,14	29,54	19,63	16,67	2,96	0,38	0,2	0	0
RÖMORK	0	0	39,99	6,14	52,8	0,78	0,28	0	0	0

5.1.2.2. Seviye 3 hesaplama

Aşağıdan yukarı hesaplama Seviye 3 şekliyle yapılırsa hesaptaki her gemi için en azından, hareket verileri (geçilen mesafe, hız ve süre) ve kurulu makine bilgileri (makine tipi ve gücü, kullandığı yakıt) bilinmelidir [30].

$$E_i = \sum_m \left(t_p \sum_e P_e \times LF_e \times EF_{e,i,m,j,p} \right) \quad (5.5)$$

Burada:

- P_e : Kurulu makine gücü
- LF_e : Ortalama kullanılan makine yükünün kurulu maine gücüne oranı
- $EF_{e,i,m,j,p}$: Emisyon faktörü
- t_p : Kullanım süresidir.

Gemi hareketlerinden makine yükü ve çalışma süresi bilgileri hesaplanır. Elde edilen yük ile makinenin, hesaplanmak istenen faz (kruz, manevra ve bekleme) için, kullandığı ortalama enerjiye ulaşılır ve hareket süresi için toplamda kullanılan enerji kWh cinsinden bulunur. Emisyon faktörleri ile de çarpılarak bulunmak istenen kirletici bilgisine ulaşılır.

Hareket süreleri bilinmiyorsa mesafe/ortalama hız yaklaşımı ile bu süreye ulaşılabilir.

$$t_p = L/V_p \quad (5.6)$$

Makine yükleri için de, en temelde, ortalama hızın servis hızına oranı iyi bir yaklaşım sunmaktadır.

$$LF_e = V_d/V_p \quad (5.7)$$

Yapılan hesaplamalar, geminin su çekimi (draft), hava direnci (drag) boyu, ağırlığı ve hareketi esnasındaki akıntı ve rüzgar bilgilerinin hızına etkisi dikkate alınarak daha doğru olarak elde edilebilir. Ancak bu durumda her bir geminin her bir emisyon tipine ulaşmak için işlenmesi gereken verinin miktarı kat be kat artmaktadır.

5.2. Emisyon Faktörleri

Emisyon Faktörleri, salınımların hesaplanabilmesi için deney, test ve kimyasal hesaplarla elde edilen katsayılardır. Temel olarak, ya kullanılan güce göre (g / kWh) ya da yakıt miktarına göre ($g / g \text{ Yakıt}$) emisyon faktörleri diye ikiye ayrılmaktadırlar.

Emisyon faktörleri farklı hesaplama metodlarına göre (Seviye 1, 2 veya 3) farklı değerler almaktadırlar.

5.2.1. Seviye 2 emisyon faktörleri

Seviye 2 hesaplama yöntemi için emisyon faktörleri makine ve yakıt tipine göre ayrılmış olarak Çizelge 5.4’te verilmiştir [16]. Bu faktörlere, gemilerin kruz, manevra ve bekleme süreleri ve bunların toplam tüketim içindeki ağırlıkları hesaplanarak ulaşılmıştır.

Çizelge 5.4 : Seviye 2 Hesaplama Yöntemi için Emisyon Faktörleri.

	DÜŞÜK DEVİR DİZEL		ORTA DEVİR DİZEL		YÜKSEK DEVİR DİZEL		GAZ TÜRBİNİ		BUHAR TÜRBİNİ	
	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO	MDO	BFO
CO	3,24	3,10	4,45	4,25	4,34	4,15	0,00	0,00	0,00	0,00
NO _x	94,30	90,20	57,90	55,30	39,60	37,90	19,70	20,00	6,90	6,90
NMVOC	1,64	1,56	1,86	1,78	2,64	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00
PM ₁₀	1,07	5,20	1,07	5,21	0,96	5,01	0,00	0,30	1,00	2,60
PM _{2,5}	0,91	4,42	0,91	4,43	0,82	4,26	0,00	0,30	0,90	2,40
BC	0,05	0,09	0,05	0,09	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
SFOC	195,00	204,00	193,00	202,00	224,00	234,00	290,00	305,00	290,00	305,00

5.2.2. Seviye 3 emisyon faktörleri

Emisyon faktörleri, belirli bir tipte motorun çalışması esnasında, çalışma rejimine göre genel olarak çıkardığı zararlı gazların güce oranlanmış halidir. Birimi genellikle (g/kWh) veya (kg/ton yakıt) olarak verilir. EMEP/EEA'nın güncel listesi Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da verilmiştir [16]

Parçacık Madde (PM) emisyonları aslında yakıttaki sülfür oranına da bağlıdır. Ancak yapılan araştırmalar sonucu çoğu emisyon faktör listesinde PM sadece kullanılan güç miktarına bağlı kalmıştır. EPA ise 2009 yılındaki çalışmasında BFO ve MDO için sülfüre bağlı katsayıları aşağıdaki şekilde BFO ve MDO için ayrı ifadeler halinde vermiştir [31].

BFO için PM_{10} katsayısı:

$$PM_{10} = 1,35 + (SFOC \times 7 \times 0,02247 \times \alpha_{S_{BFO}}) \quad (5.8)$$

MDO için PM_{10} katsayısı:

$$PM_{10} = 0,23 + (SFOC \times 7 \times 0,02247 \times \alpha_{S_{MDO}}) \quad (5.9)$$

Burada:

- $\alpha_{S_{BFO}}$: BFO içindeki sülfür oranı
- $\alpha_{S_{MDO}}$: MDO içindeki sülfür oranı

Olarak değişmektedir.

Bunun dışında BFO ile MDO arasında en önemli fark, ifadenin başındaki sayının kendisidir. Bu sayı, parçacık maddelerin yanma ile doğrudan ilişkili olmasından ötürü ifadeye girmektedir. BFO ile yanma işlemi, -diğer kirleticilerde de olduğu üzere- daha çok parçacık salınımına sebep olmaktadır.

$PM_{2,5}$ için ise PM_{10} katsayısının %92'si alınmıştır.

Çizelge 5.5 : Seviye 3 Hesaplama Yöntemi için Yanma Kaynaklı Emisyon Faktörleri.

FAZ	MAKİNE TİPİ	YAKIT TİPİ	NMVOC (g / kwh)	SFOC (g Yakıt / kwh)
KRUZ	GAZ TÜRBİNİ	BFO	0,1	305
		MDO	0,1	290
	YÜKSEK DEVİR DİZEL	BFO	0,2	213
		MDO	0,2	203
	ORTA DEVİR DİZEL	BFO	0,5	213
		MDO	0,5	203
	DÜŞÜK DEVİR DİZEL	BFO	0,6	195
		MDO	0,6	15
	BUHAR TÜRBİNİ	BFO	0,1	305
		MDO	0,5	290
MANEVRA BEKLEME	GAZ TÜRBİNİ	BFO	0,5	336
		MDO	0,6	319
	YÜKSEK DEVİR DİZEL	BFO	0,6	234
		MDO	1,5	223
	ORTA DEVİR DİZEL	BFO	1,5	234
		MDO	1,8	223
	DÜŞÜK DEVİR DİZEL	BFO	1,8	215
		MDO	0,3	204
	BUHAR TÜRBİNİ	BFO	0,3	336
		MDO	0,4	319

Çizelge 5.6 : Seviye 3 Hesaplama Yöntemi için Yakıt Kaynaklı Emisyon Faktörleri.

KİRLLETİCİ	BİRİM	BFO	MDO
CO ₂	<i>g / (g Yakıt)</i>	3,2	3,2
CO	<i>kg / (t yakıt)</i>	7,4	7,4
SO _x	<i>kg / (t yakıt)</i>	20 x (%S)	20 x (%S)
Pb	<i>g / (t yakıt)</i>	0,18	0,13
Cd	<i>g / (t yakıt)</i>	0,02	0,01
Hg	<i>g / (t yakıt)</i>	0,02	0,03
As	<i>g / (t yakıt)</i>	0,68	0,04
Cr	<i>g / (t yakıt)</i>	0,72	0,05
Cu	<i>g / (t yakıt)</i>	1,25	0,88
Ni	<i>g / (t yakıt)</i>	32	1
Se	<i>g / (t yakıt)</i>	0,21	0,1
Zn	<i>g / (t yakıt)</i>	1,2	1,2
PCDD/F	<i>mg / (t yakıt)</i>	0,47	0,13
HCB	<i>mg / (t yakıt)</i>	0,14	0,08
PCB	<i>mg / (t yakıt)</i>	0,57	0,38

5.3. Karbon Eşlenikleri

Salınan kirleticiler atmosferde bulundukları süre içerisinde güneşten dünyaya gelen ısıнын bir kısmını uzaya geri gönderirken bir kısmının da atmosferde kalmasını sağlarlar. En basit haliyle, atmosferde normalde tutulacağından daha fazla ısı birikmesine sebep olan gazlara sera gazı denmektedir.

Bu noktada, her gazın farklı bir ısı tutma kabiliyeti olduğunu ancak farklı tipteki sera gazları ile uğraşırken toplam etkinin kolayca anlaşılamadığını belirtmekte yarar vardır. Bu sebeple, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC), CO₂'nin ısı tutma katsayısını temel alan Küresel Isınma Potansiyeli (Global Warming Potential, GWP) tanımını yapmıştır. Farklı gazların atmosferde kalma ve ısı yansıtma oranlarını CO₂'e oranlayarak Karbon Eşleniği tanımı yapılmıştır. Çizelge 5.7'de bazı sera gazları için karbon eşlenikleri verilmiştir [32].

Çizelge 5.7 : Karbon Eşlenikleri.

KİRLETİCİ TİPİ	GWP ₂₀	GWP ₁₀₀
CO ₂	1	1
CO	10	3
CH ₄	84	30
NO _x	300	265
C ₃ H ₈	9,5	3,3
C ₄ H ₁₀	6,5	4
BC	4,47	2,24
NH ₃	0	0

Karbon eşleniği bulunurken, kirletici miktarı, GWP ile çapılır.

$$CO_2E_{i,j} = E_i \times GWP_{i,j}$$

Burada:

- $CO_2E_{i,j}$: Belirli bir kirletici tipi (i) için 20 ya da 100 yıllık (j) karbon eşleniğidir.
- $E_{i,j}$: Seçilen emisyon tipindeki (i) toplam emisyon kütesidir.
- $GWP_{i,j}$: Seçilen emisyon tipi için (i) 20 ya da 100 (j) yıllık küresel ısınma potansiyelidir.

5.4. Hesaplamalarda Yapılan Kabüller

Aşağıdan yukarıya hesaplama yöntemleri ile emisyon hesapları yapılırken ilgili her veriye ulaşmak her zaman mümkün olmamaktadır.

Bu sebeple bu tezde yapılan hesaplarda belirli kabüller yapılmıştır.

5.4.1. Seviye 2 hesaplama yöntemi kabülleri

Seviye 2 hesaplama yöntemi tariflenirken verilen çizelgelerdeki ortalama değerler, 2010 yılı dünya gemi filosu ortalamalarıdır. Trozzi dünya gemi filosunun yenilenme hızını 25 yıl olarak öngörmüştür [30]. Buradan hareketle, her yıl gemi filosunun %4 kadarının yenilendiği ve geçen 2010 ile 2020 yılları arasındaki 10 yılda dünya gemi filosunun %40'ının yenilendiği düşünülmektedir. Ancak 2010'dan sonraki yıllar için dünya gemi filosu ortalama bilgileri literatürde bulunmadığı için, Seviye 2 hesaplamaları, 2010 yılı dünya gemi filosu değerlerinin, 2020 yılında İstanbul ve Çanakkale Boğazları'ndan geçen gemiler için doğru olduğu kab l  ile yapılmıştır.

Değinilmesi gereken bir diğer nokta ise, Seviye 2 hesaplama yöntemi ile yapılan hesaplarda lokal trafiğin ele alınmayışıdır. Lokal trafik bilgileri KEGM veya başka bir resmi kurum tarafından takip edilmemektedir. Lokal trafiğin etkisi bu sebeple Seviye 2 hesaplama yöntemi ile yapılan emisyon hesaplarının dışında tutulmuştur. Ayrıca, Seviye 2 için verilen ortalama kurulu güç, makine tipi ve yakıt tüketimi gibi veriler, lokal gemiler için geçerli olmadığından, AIS'e tabi olmayan vapur, yat, tekne ve askeri gemi gibi gemi tipleri için Seviye 2 hesaplama yöntemi ile hesaplama yapılmamıştır.

Son olarak, Seviye 2 hesaplama yöntemi gemilerin manevra ve bekleme s relerindeki emisyonları için emisyon katsayıları içermemektedir. Bu sebeple yapılan hesaplar, manevra ve beklemenin yapılmadığı İstanbul ve Çanakkale Boğazları için yapılmıştır.

5.4.2. Seviye 3 hesaplama yöntemi kabülleri

Seviye 3 hesaplama yöntemi, her geminin kendine ait özellikleri ve yolculuk hızı ve süresi gibi bilgileri hesaba katmaktadır. Bu bilgilerden bazıları her gemi için bulunamamaktadır.

Hesap yapılırken öncelikle gemilerin boğaz geçişi sırasında KEGM'ne deklare ettikleri hız bilgileri, geminin en yüksek hızı olan servis hızına bölünerek makine yükü hesaplanmıştır. Geminin deklare hızının KEGM kayıtlarında olmadığı durumlarda,

ilgili boğaz geçiş mesafesi boğaz geçiş süresine bölünerek ortalama hız bulunmuştur. Geminin servis hızının IMO kayıtlarında olmadığı durumlarda ise, makine yükü %80 olarak kabul edilmiştir.

Bir diğer husus ise, gemilerin Marmara Denizinde kat ettikleri mesafeye ilişkindir. Transit olan gemiler için Marmara Denizi rotası 203 km alınmıştır. Ancak transit olmayan gemilerin hangi liman ya da limanlara yanaştıkları bilgisine ulaşamadığından, her iki boğazdan ortalama liman mesafeleri hesaplanmıştır. Buna göre, İstanbul Boğazı'ndan giren bir geminin bir limana yanaşması için kat etmesi gereken mesafe 75,4 km iken, Çanakkale Boğazı'ndan geçen bir gemi için bu mesafe 190,8 km'dir. Transit olmayan gemiler için Marmara Denizi rotası yaklaşık olarak 266,2 km olarak hesaplanmıştır.

Transit olmayan gemiler için Marmara Denizindeki yolculukları için 1 saat manevra süresi tanımlanmıştır. Ancak bekleme süresi, yardımcı makine bilgilerine her gemi için ulaşamadığından ötürü ihmal edilmiştir. Bekleme esnasında kullanılacak yardımcı makinelerin ana makine gücüne oranla çok küçük olması sebebiyle bu kabulün etkisinin küçük olacağı beklenmektedir.

Son olarak kullanılan yakıt için de hızı 130 rpm'den küçük olan makinelerin BFO kullanmakta olduğu kabulü yapılmıştır. 2010 dünya gemi filosu makine tipi ve yakıt tipi kullanım oranlarına bakıldığında düşük devirli makinelerde BFO kullanımının yaklaşık %99 oranında olduğu görülmektedir.

6. BOĞAZLAR VE MARMARA DENİZİNDEKİ EMİSYONLAR

2019 ve 2020 yıllarında İstanbul Boğazı, Boğazlar Bölgesi ve Marmara’da gemi kaynaklı emisyonlar Seviye 3 hesaplama yöntemiyle hesaplanmıştır. Gemiler uğraklı olup olmamalarına göre sınıflandırılarak hesaplamaya katılmıştır.

Boğazlarda çıkan emisyonlar, daha önceki yıllarda yapılan hesaplarla karşılaştırmalı olarak sunulmuş, aradaki farklar gösterilmiştir.

6.1. 2019 Yılı Emisyonları

6.1.1. Yanma kaynaklı emisyonlar

Çizelge 6.1’de 2019 yılındaki yanma kaynaklı emisyonlar gösterilmiştir. Buna göre tüm gemiler için hesaplanan CO₂ emisyonunun (3,4 milyon ton) yalnızca %19,9’luk kısmının boğaz geçişlerinden kaynaklandığı görülmektedir. Toplam CO₂’in %53’ü uğraklı gemilerden, geri kalan %26,7’lik kısmı ise uğraksız gemilerden gelmektedir.

Çizelgede dikkat edilmesi gereken bir diğer kirletici tipi de NO_x olmaktadır. Yapılan hesaplara göre, toplamın NO_x emisyonlarının %20,5 kadarı boğaz geçişlerinden kaynaklanmakta iken, kalanı Marmara’da kat edilen mesafeden kaynaklanmaktadır.

Diğer kirleticiler için de oranlar benzer şekilde çıkmaktadır.

Çizelge 6.1 : 2019 Yılı Yanma Kaynaklı Emisyonlar.

KİRLLETİCİ	BİRİM	İSTANBUL BOĞAZI	MARMARA		ÇANAKKALE BOĞAZI	TOPLAM
			UĞRAKLI	UĞRAKSIZ		
CO ₂	t	190.051	1.813.933	903.136	483.604	3.390.724
CO	t	439	4.195	2.089	1.118	7.841
NO _x	t	4.776	45.812	22.945	12.853	86.386
PM ₁₀	t	565	5.587	2.592	1.463	10.207
PM _{2,5}	t	520	5.140	2.385	1.346	9.390
BC	t	3	31	15	8	57
NMVOC	t	158	1.546	747	414	2.865
PCDD/F	kg	23	220	106	58	407
HCB	kg	7	71	35	19	132
PCB	kg	31	297	146	79	553

6.1.2. Yakıt kaynaklı emisyonlar

Çizelge 6.2’de 2019 yılındaki yakıt kaynaklı emisyonlar verilmiştir. Bu çizelgede hem miktarı hem de etkileri sebebiyle asıl dikkat edilmesi gereken kirlletici değeri SO_x emisyonlarıdır. Buna göre 2019 yılında toplamda 50,8 bin ton olarak hesaplanmıştır.

SO_x salınımı yakıttaki sülfür oranı ile doğru orantılıdır. 2020 yılı öncesi yakıttaki sülfür miktarının dünya ortalaması % 2,7’dir. Bu sebeple yapılan hesaplarda da bu şekilde alınmıştır. 2020 sonrasında için ECA dışındaki alanlarda sülfür limiti % 0,5 ECA içinde ise % 0,1 olarak sınırlandırılmıştır.

Çizelge 6.2 : 2019 Yılı Yakıt Kaynaklı Emisyonlar.

KİRLETİCİ	BİRİM	İSTANBUL BOĞAZI	MARMARA		ÇANAKKALE BOĞAZI	TOPLAM
			UĞRAKLI	UĞRAKSIZ		
SO _x	<i>t</i>	2.843	27.680	13.109	7.240	50.873
Pb	<i>kg</i>	10	95	47	25	177
Cd	<i>kg</i>	1	10	5	3	19
Hg	<i>kg</i>	1	13	6	3	24
As	<i>kg</i>	30	298	142	79	549
Cr	<i>kg</i>	109	994	539	267	1.910
Cu	<i>kg</i>	68	658	324	175	1.225
Ni	<i>kg</i>	1.418	13.896	6.596	3.691	25.601
Se	<i>kg</i>	11	104	51	28	193
Zn	<i>kg</i>	71	680	339	181	1.272

6.1.3. Gemi tiplerine göre emisyonlar

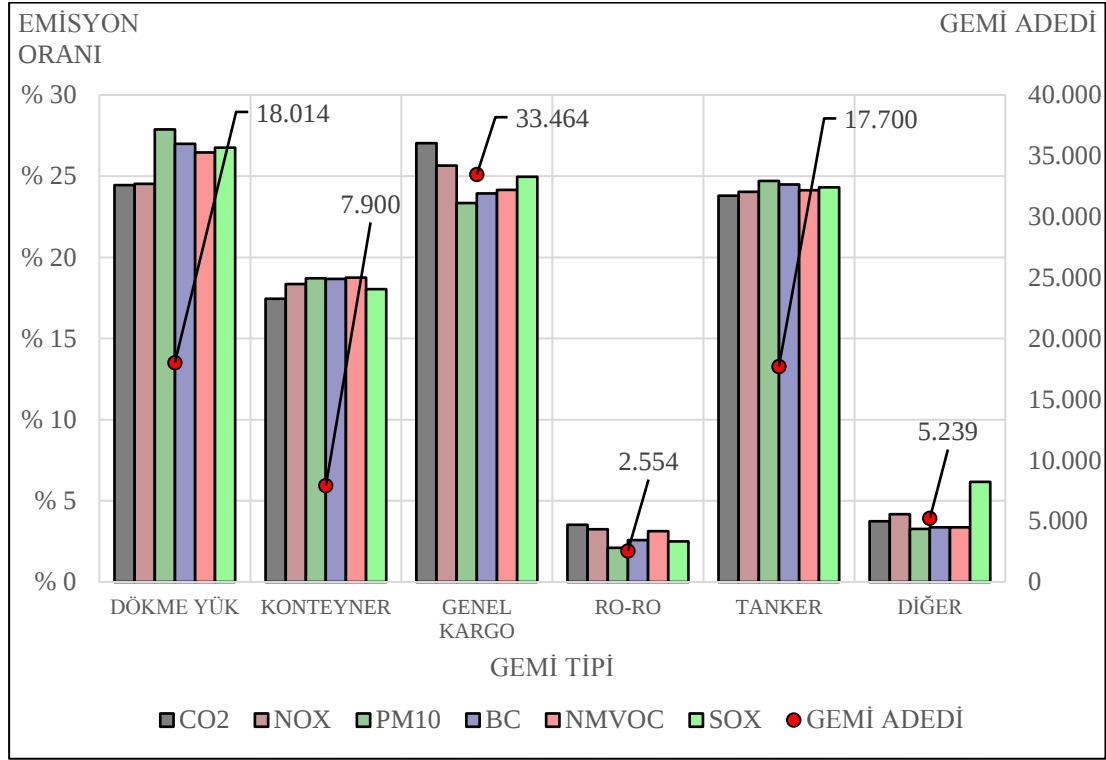
Gemilerin görev profillerine göre ortalama büyüklükleri değişmektedir. Aynı şekilde kurulu makinelerin tipleri ve kullandığı yakıtlar ile kurulu güçleri de görev tipiyle alakalıdır.

Hesaplanan emisyonlar incelenirken, geçen gemilerin tiplerine göre salınımları hesaplanmış ve 2019 yılı içinde Boğazlar Bölgesi ve Marmara denizindeki kirleticilerin kendi içinde toplam miktarına oranlanarak, hangi gemi tipinin daha fazla etkisi olduğu incelenmiştir.

Şekil 6.1’de yanma kaynaklı kirletici emisyonlarının gemi tiplerine göre oranları verilmiştir. 2019 yılı için dökme yük, konteyner, genel kargo, Ro-Ro gemileri ile tankerler, Boğazlar Bölgesi’ndeki deniz trafiğinin yaklaşık %94’ünü oluşturmaktadır. Ancak emisyonların %97’si bu gemi tiplerinden gelmektedir.

Şekil 6.1 incelendiğinde, gemi tiplerine göre salınan kirletici miktarlarının değiştiği görülmektedir. Örneğin 2019 yılında Boğazlar’dan geçiş yapan yaklaşık 35 bin genel kargo gemisinin (toplam geçiş sayısının yaklaşık %39’u), yanma kaynaklı emisyonların sadece %27’sinden sorumlu oldukları görülmektedir. Buna mukabil, başta konteyner gemileri olmak üzere dökme yük gemileri ve tankerler ise toplam geçiş sayısına oranlarından daha yüksek oranda emisyon üretmişlerdir. Bu durumun

ana sebebinin, bu tipteki gemilerin daha yüksek gros tonajlarda ve ekseriye düşük devirli makineler ile ağır yakıt kullanmaları olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.1 : Emisyonların Gemi Tiplerine Göre Dağılımı (2019).

6.1.4. Gemi inşa yıllarına göre emisyonlar

MARPOL Ek VI kapsamında NO_x limitleri, daha önce Çizelge 3.1’de de gösterildiği üzerei gemi yapım yılına ve ana makine hızına bağlı olarak kademeli olarak düşürüldüğünden gemi tipleri gibi gemi inşa yılları da çıkan emisyonları etkilemektedir. Burada, gemi inşa yılı olarak ya gemi inşa kontratının imzalandığı; kontratın olmadığı durumlarda gemi omurgasının oluşturulduğu tarih ya da hali hazırda var olan bir geminin majör yenilemeye girdiği tarih alınmaktadır. Yenilemenin büyüklüğü, MARPOL Ek VI’da “*geminin IMO tarafından yeni olarak kaydedilmesini gerektirecek kadar*” olarak tariflenmiştir.

Çizelge 6.3’te, 2019 yılı için Boğazlar Bölgesi için toplam emisyonlar gemi inşa tarihlerine göre gösterilmiştir.

Çizelge incelendiğinde, 2019 yılında Boğazlar Bölgesi’ndeki gemi kaynaklı toplam emisyonların (herhangi bir kirletici madde için) yaklaşık yarısının 2000 – 2010 yılları arasında inşa edilmiş gemilerden geldiği görülmektedir. 2011 ve sonrasında inşa edilen

gemiler toplam emisyonların %30'una sebep olmakta iken, 2000 öncesi gemiler sadece %20'lik bir kısımdan sorumludurlar.

Çizelge 6.3 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yanma Kaynaklı Gemi Emisyonları (2019).

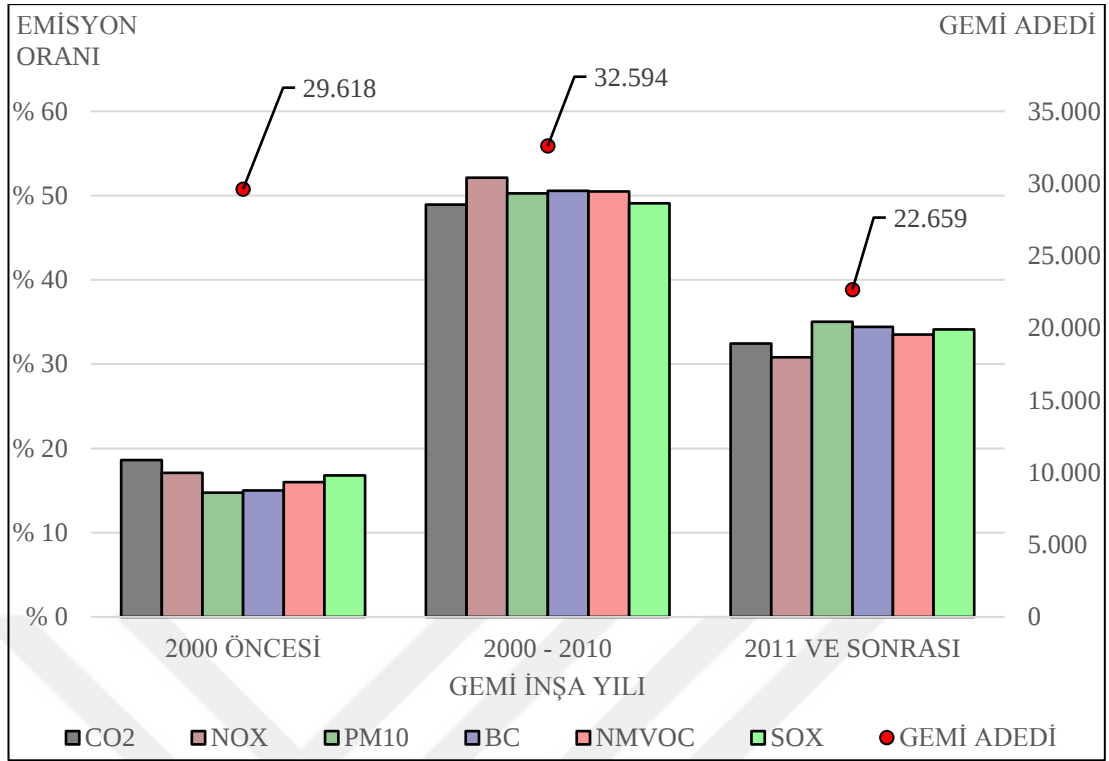
KİRLLETİCİ	BİRİM	GEMİ İNŞA YILI			TOPLAM
		2000 ÖNCESİ	2000 - 2010	2011 VE SONRASI	
CO ₂	<i>t</i>	631.516	1.658.649	1.100.558	3.390.724
CO	<i>t</i>	1.460	3.836	2.545	7.841
NO _x	<i>t</i>	14.755	45.011	26.620	86.386
PM ₁₀	<i>t</i>	1.504	5.129	3.574	10.207
PM _{2,5}	<i>t</i>	1.383	4.719	3.288	9.390
BC	<i>t</i>	9	29	20	57
NMVOC	<i>t</i>	458	1.447	960	2.865
PCDD/F	<i>kg</i>	59	203	145	407
HCB	<i>kg</i>	22	65	45	132
PCB	<i>kg</i>	94	273	187	553

Yakıt kaynaklı emisyonlar ise Çizelge 6.4'te verilmiştir.

Çizelge 6.4 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yakıt Kaynaklı Gemi Emisyonları (2019).

KİRLLETİCİ	BİRİM	GEMİ İNŞA YILI			TOPLAM
		2000 ÖNCESİ	2000 - 2010	2011 VE SONRASI	
SO _x	<i>t</i>	8.553	24.962	17.358	50.873
Pb	<i>kg</i>	31	87	59	177
Cd	<i>kg</i>	3	9	6	19
Hg	<i>kg</i>	5	12	7	24
As	<i>kg</i>	71	276	203	549
Cr	<i>kg</i>	76	293	215	583
Cu	<i>kg</i>	210	604	412	1.225
Ni	<i>kg</i>	3.240	12.870	9.491	25.601
Se	<i>kg</i>	31	96	67	193
Zn	<i>kg</i>	237	622	413	1.272

İnşa tarihine göre gemiler ve yaydıkları emisyonlar Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Buna göre, 2000 yılı öncesinde inşa edilen gemiler trafiğin yaklaşık %35’ini oluştururken, herhangi bir kirletici için olan toplam emisyon miktarının ancak %20 kadarını atmosfere salmaktadırlar. Tersî şekilde, yeni gemiler (özellikle 2000-2010 arası inşa edilenler) kaynaklı kirleticilerin aynı kirleticinin toplam salınımına oranı, yeni gemi sayısının toplam gemi sayısına oranından büyük çıkmaktadır.



Şekil 6.2 : Emisyonların Gemi İnşa Yılına Göre Dağılımı (2019).

6.2. 2020 Yılı Emisyonları

6.2.1. Yanma kaynaklı emisyonlar

Çizelge 6.5'te 2020 yılındaki yanma kaynaklı emisyonlar gösterilmiştir. Geçen gemi sayısı ile benzer şekilde CO₂ emisyonlarında 2020 yılında 2019 yılına göre düşüş gözlemlenmektedir. Bu daha az yakıt tüketildiği anlamına da gelmektedir.

Çizelge 6.5 : 2020 Yılı Yanma Kaynaklı Emisyonlar.

KİRLETİCİ	BİRİM	İSTANBUL BOĞAZI	MARMARA		ÇANAKKALE BOĞAZI	TOPLAM
			UĞRAKLI	UĞRAKSIZ		
CO ₂	t	176.036	1.693.149	827.094	439.247	3.135.526
CO	t	407	3.915	1.913	1.016	7.251
NO _x	t	4.451	60.514	21.229	11.318	97.512
PM ₁₀	t	364	3.603	1.692	940	6.599
PM _{2,5}	t	335	3.315	1.556	865	6.071
BC	t	3	29	14	8	53
NMVOC	t	148	1.444	694	377	2.663
PCDD/F	kg	21	207	99	55	382
HCB	kg	7	67	32	17	123
PCB	kg	29	278	135	73	514

6.2.2. Yakıt kaynaklı emisyonlar

Çizelge 6.6’da 2020 yılındaki yakıt kaynaklı emisyonlar verilmiştir. 2019 yılına göre yakıt sülfür oranı % 2’e 7’den % 0,5’e düştüğü için SO_x emisyonunda yaklaşık %80’lik bir iyileşme görülmüştür.

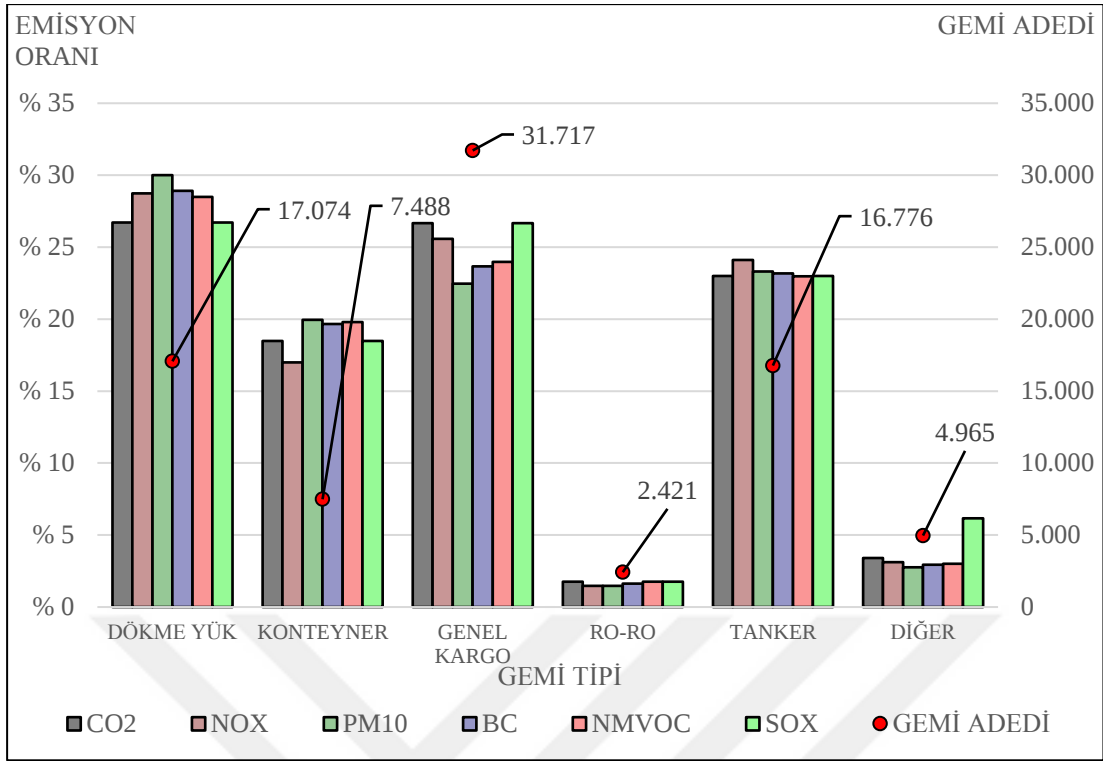
Çizelge 6.6 : 2020 Yılı Yakıt Kaynaklı Emisyonlar.

KİRLETİCİ	BİRİM	İSTANBUL BOĞAZI	MARMARA		ÇANAKKALE BOĞAZI	TOPLAM
			UĞRAKLI	UĞRAKSIZ		
SO _x	t	550	5.291	2.585	1.373	9.799
Pb	kg	9	89	43	23	165
Cd	kg	1	9	5	2	17
Hg	kg	1	12	6	3	22
As	kg	28	282	133	75	518
Cr	kg	100	903	469	224	1.698
Cu	kg	64	616	299	161	1.139
Ni	kg	1.320	13.147	6.218	3.483	24.168
Se	kg	10	98	47	26	180
Zn	kg	66	635	310	165	1.176

6.2.3. Gemi eiplerine göre emisyonlar

2020 yılında, 2019’a benzer şekilde, dökme yük, konteyner, genel kargo, Ro – Ro tipi gemiler ile tankerler toplam deniz trafiğin %94’ünü oluşturmaktadır. Gene benzer şekilde gemi kaynaklı emisyonların %97’sine sebep olmaktadır.

Şekil 6.3’te 2020 yılında Boğazlar Bölgesi’nde salınan toplam CO₂, PM₁₀, NO_x ve SO_x emisyonlarının gemi tiplerine göre kırılımı verilmiştir. Şekildeki oranlar, verilen her bir verinin o veri setindeki toplamına oranıdır. Gemi tipi oranları ise, seçilen tipteki gemilerin adedinin toplam gemi geçiş adedine oranıdır. Buna mukabil, başta konteyner olmak üzere dökme yük gemileri ve tankerler ise trafik içindeki oranlarından daha fazla emisyon üretmişlerdir.



Şekil 6.3 : Emisyonların Gemi Tiplerine Göre Dağılımı (2020).

6.2.4. Gemi inşa yıllarına göre emisyonlar

MARPOL Ek VI kapsamında NOX limitleri gemi yapım yılına bağlı olarak kademeli olarak düşürüldüğünden gemi tipleri gibi gemi inşa yılları da çıkan emisyonları etkilemektedir. Çizelge 6.7’de 2020 yılı için Boğazlar Bölgesi için toplam emisyonlar gemi inşa tarihlerine göre gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yanma Kaynaklı Gemi Emisyonları (2020).

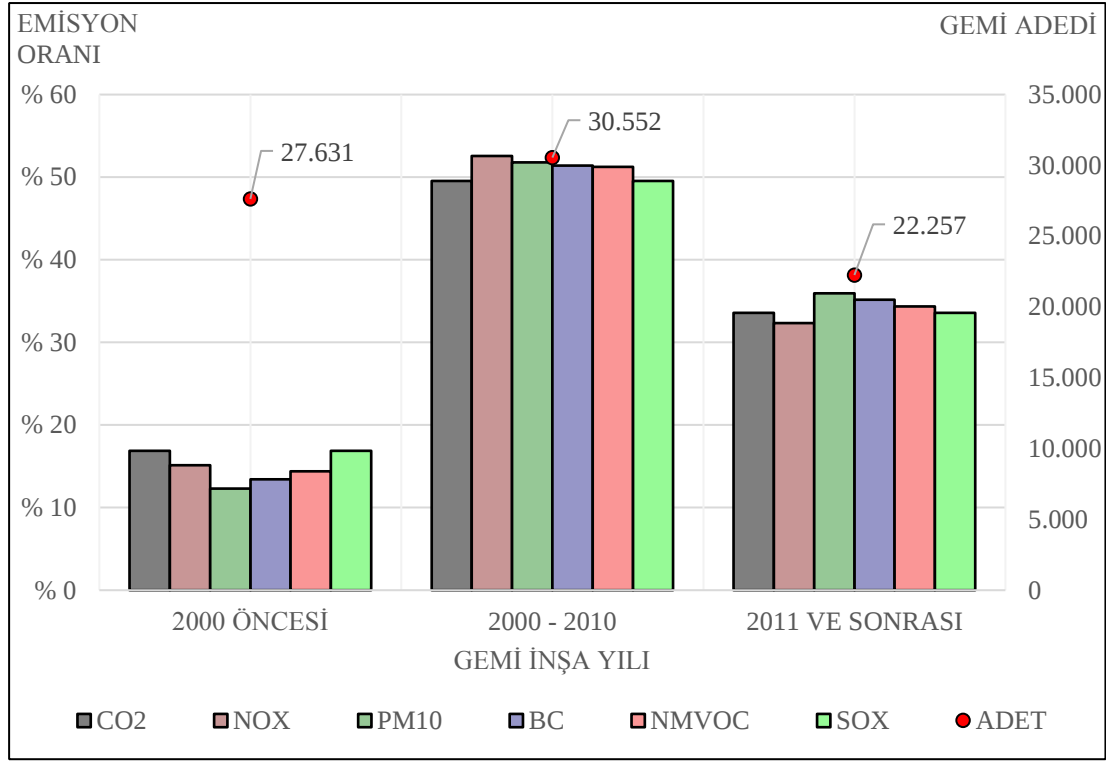
KİRLLETİCİ	BİRİM	GEMİ İNŞA YILI			TOPLAM
		2000 ÖNCESİ	2000 - 2010	2011 VE SONRASI	
CO ₂	<i>t</i>	529.105	1.553.485	1.052.936	3.135.526
CO	<i>t</i>	1.224	3.592	2.435	7.251
NO _x	<i>t</i>	14.741	51.246	31.526	97.512
PM ₁₀	<i>t</i>	811	3.417	2.371	6.599
PM _{2,5}	<i>t</i>	746	3.144	2.181	6.071
BC	<i>t</i>	7	27	19	53
NMVOC	<i>t</i>	384	1.365	915	2.663
PCDD/F	<i>kg</i>	48	194	140	382
HCB	<i>kg</i>	18	62	43	123
PCB	<i>kg</i>	78	258	179	514

Yakıt kaynaklı emisyonlar ise Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 : Gemi İnşa Yılına Göre Türk Boğazları ve Marmara Denizindeki Toplam Yakıt Kaynaklı Gemi Emisyonları (2020).

KİRLLETİCİ	BİRİM	GEMİ İNŞA YILI			TOPLAM
		2000 ÖNCESİ	2000 - 2010	2011 VE SONRASI	
SO _x	<i>t</i>	1.653	4.855	3.290	9.799
Pb	<i>kg</i>	25	82	57	165
Cd	<i>kg</i>	2	9	6	17
Hg	<i>kg</i>	4	11	7	22
As	<i>kg</i>	56	266	196	518
Cr	<i>kg</i>	60	282	208	550
Cu	<i>kg</i>	174	570	395	1.139
Ni	<i>kg</i>	2.579	12.412	9.177	24.168
Se	<i>kg</i>	25	91	64	180
Zn	<i>kg</i>	198	583	395	1.176

İnşa tarihine göre gemiler ve çıkardıkları emisyonlar Şekil 6.4’te gösterilmiştir. Buna göre, 2000 yılı öncesinde inşa edilen gemiler trafiğin yaklaşık %35’ini oluştururken, emisyonların ancak %20 kadarını çıkarmaktadırlar. Tersine şekilde, yeni gemiler (özellikle 2000-2010 arası inşa edilenler) kaynaklı emisyonların toplam emisyonlara oranı, yeni gemi sayısının toplam gemi sayısına oranından büyük çıkmaktadır.



Şekil 6.4 : Emisyonların Gemi İnşa Yılına Göre Dağılımı (2020).

6.3. Önceki Yıllara Göre Karşılaştırmalı Emisyonlar

Daha önce Türk Boğazlarında gemi kaynaklı emisyonların hesaplanması için yapılan çalışmalar içinden, 1999 yılı verileriyle Kesgin, 2003 yılı verileriyle Deniz ve 2009 yılı verileriyle Ergin’in çalışmaları bu çalışmanın sonuçlarıyla Çizelge 6.9’da İstanbul Boğazı ve Çizelge 6.10’da Çanakkale Boğazı için karşılaştırılmıştır [17, 18, 19]. Bu çalışmaların seçilme sebebi Boğazlar Bölgesi için toplam emisyon hesabı yapmış olmalarıdır.

1999 ve 2003 yılları için yapılan çalışmalarda, Seviye 3 yaklaşımı yerine Seviye 2 yaklaşımı kullanılmıştır [17, 18]. Daha önce de gösterildiği üzere Seviye 2 yaklaşımı için belirli gemi tiplerinde ortalama güç üzerinden hesaplanmaktadır. Hesaplamaların

yapıldığı sırada kullanılan gemi tipine göre ortalama güç değerleri 1999 gemi filosundan gelmektedir.

Ergin'in 2011'deki çalışmasında, bu çalışmada olduğu üzere, Seviye 3 yaklaşımı ile emisyon hesabı yapmıştır [19]. Bu çalışmada hesaplanan değerler de Ergin'in çalışmasında bulunan değerler ile benzerlik göstermektedir. CO₂ emisyonları üzerinden incelendiğinde, aradaki fark, geçen gemilerin toplam gros tonajıyla orantılı olarak artmaktadır.

Deniz'in çalışmasıyla karşılaştırıldığında ise bu çalışmada ve Ergin'in çalışmasında bulunan sonuçların daha düşük kaldığı gözlemlenmektedir. Katsayılar incelendiğinde çalışmalar Deniz'in kullandığı özgül yakıt tüketim katsayılarının Ergin'in çalışmasında ve bu çalışmada kullanılan katsayılardan büyük olduğu görülmüştür.

Çizelge 6.9 : İstanbul Boğazı'ndaki Emisyonların Yıllara Göre Değişimi (t / Yıl).

KİRLLETİCİ	Kesgin (2000)	Deniz (2007)	Ergin (2011)	Bu Çalışma (2022)	
	1998	2003	2010	2019	2020
CO ₂	174.860	297.787	203.339	190.051	176.036
CO	407	701	473	439	407
NO _x	4.357	6.109	4.949	4.776	4.451
SO _x	-	5.025	1.810	2.843	550
PM	66	263	404	565	364
NMVOC	132	228	169	158	148
GEMİ SAYISI	49.304	46.939	50.871	41.112	38.404

Çizelge 6.10 : Çanakkale Boğazı'ndaki Emisyonların Yıllara Göre Değişimi (t / Yıl).

KİRLLETİCİ	Kesgin (2000)	Deniz (2007)	Ergin (2011)	Bu Çalışma (2022)	
	1998	2003	2010	2019	2020
CO ₂	337.590	640.331	403.265	483.604	439.247
CO	786	1.494	936	1.118	1.016
NO _x	8.461	13.099	9.808	12.853	11.318
SO _x	-	10.806	5.707	7.240	1.373
PM	128	578	801	1.463	940
NMVOC	255	485	529	414	377
GEMİ SAYISI	38.777	42.648	46.668	43.759	42.036

6.4. Değişik Senaryolara Göre Hesaplamalar

6.4.1. ECA emisyon limitleri ile hesaplanan emisyonlar

Boğazlar bölgesi 2021 yılı itibarıyla ECA olarak sınıflanmadığı için gemilerin NO_x emisyonları Tier III Limitlerini sağlamak zorunda değildir. Boğazlar bölgesi ECA bölgesi olsaydı, 2016 ve sonrasında inşa edilen gemilerin emisyon hesaplarındaki katsayıları farklı olacaktır. Aynı şekilde, SO_x emisyon limitleri de ECA için % 0,1 iken ECA olmayan (güncel) durumda % 0,5'dir.

MARPOL Ek VI'ya göre Tier III NO_x limitleri 2016 yılı itibarıyla ECA için devreye girmiştir. 2020 yılında da gemi yakıtlarındaki sülfür oranı % 0,1 olarak belirlenmiştir. Bu iki değişikliğin de devreye girdiği 2020 yılı için emisyon hesapları Seviye 2 hesaplama yöntemi kullanılarak tekrarlanmış, emisyonlar Çizelge 6.11'de gösterilmiştir. 2020 yılı için güncel limitlere ve ECA limitlerine göre toplam emisyonlar karşılaştırıldığında NO_x'da %10, PM10 ve PM2.5 emisyonlarında yaklaşık %20 azalma görülmektedir. 2020 yılı için güncel SO_x değerleri ile karşılaştırıldığında ise yaklaşık %80'lik bir iyileşme görülmektedir.

Çizelge 6.11 : 2020 Yılı ECA Bölgesi Limitli Emisyonlar (t / Yıl).

KİRLETİCİ	İSTANBUL BOĞAZI	MARMARA		ÇANAKKALE BOĞAZI	2020 ECA TOPLAM	2020 GÜNCEL TOPLAM
		UĞRAKLI	UĞRAKSIZ			
CO ₂	176.036	1.693.149	827.094	439.247	3.135.526	3.135.526
SO _x	176	1.693	827	439	3.136	9.799
NO _x	4.036	54.277	19.649	10.301	88.263	97.512
PM ₁₀	329	3.270	1.529	854	5.982	6.599
PM _{2,5}	303	3.008	1.407	786	5.504	6.071
BC	3	29	14	8	53	53

6.4.2. Seviye 2 hesaplama yöntemiyle bulunan emisyonlar

Seviye 2 yaklaşımı ile sadece 2020 yılı için boğaz geçişleri kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. Bu hesap, seviye 2 ile Seviye 3 arasındaki farkı göstermesi açısından önemlidir. Çizelge 6.12’de İstanbul ve Çizelge 6.13’te Çanakkale Boğazı’ndan geçen gemilerin sebep olduğu yanma kaynaklı emisyonlar sunulmuştur.

Seviye 2 yaklaşımında öncelikle emisyonların Seviye 3 yaklaşımına göre önemli ölçüde düşük çıktığı gözlemlenmektedir. Ayrıca Seviye 2 yaklaşımı temel olarak 2010 Dünya Gemi Filosu değerlerini kullandığı için gemi tiplerine ait ortalama kurulu makine güçleri güncelliğini büyük ölçüde yitirmiştir.

Çizelge 6.12 : İstanbul Boğazı – Seviye 2 Yaklaşımı (t / Yıl).

GEMİ TİPİ	CO ₂	CO	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2,5}	BC
TANKER	13.400	45	1.089	22	67	57	1
DÖKME YÜK	9.214	29	806	15	48	40	1
KONTEYNER	6.872	22	606	11	35	30	1
GENEL KARGO	11.842	44	833	20	55	47	1
RO – RO	306	1	18	1	1	1	0
YOLCU	128	0	7	0	1	0	0
BALIKÇI	100	0	6	0	0	0	0
DİĞER	534	2	34	1	2	1	0
RÖMORKÖR	116	1	5	0	0	0	0
TOPLAM	42.511	146	3.404	70	209	178	4

Çizelge 6.13 : Çanakkale Boğazı – Seviye 2 Yaklaşımı (t / Yıl).

Gemi Tipi	CO ₂	CO	NO _x	NMVOC	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Tanker	33.139	112	2.694	54	166	141	3
Dökme Yük	22.104	71	1.933	35	114	97	2
Konteyner	30.316	96	2.675	48	156	133	3
Genel Kargo	22.239	83	1.565	38	103	88	2
Ro - Ro	4.728	18	284	8	21	18	0
Yolcu	198	1	10	0	1	1	0
Balıkçı	237	1	13	0	0	0	0
Diğer	1.359	5	86	3	4	4	0
Römorkör	452	2	21	1	1	0	0
Toplam	114.771	390	9.280	188	566	481	10

6.5. Emisyonların Karbon Eşlenikleri

Karbon eşleniği, bir kirleticinin küresel ısınmaya olan etkisinin CO₂'in küresel ısınma potansiyeline oranını belirtmektedir. Bu bağlamda, 1 gram CO₂'nin 20 ve 100 yıl içinde sebep olacağı küresel ısınma potansiyeli 1 kabul edilerek, diğer kirleticilerin ne kadar CO₂ salınımına denk geldiği bulunmaktadır. GWP değerleri Çizelge 6.14'te verilmiştir. 20 ve 100 yıllık katsayılar kullanılarak yapılan hesaplarda, özellikle NO_x emisyonlarının GWP 20 ve GWP 100 değerleri, GWP değerleri hesaplanan tüm kirleticilerin %80'inden fazla çıkmaktadır.

Çizelge 6.14 : Karbon Eşlenikleri (t / Yıl).

KİRLETİCİ	GWP	2019	2020	2020 ECA
CO ₂	GWP 20	3.390.724	3.135.526	3.135.526
	GWP 100	3.390.724	3.135.526	3.135.526
CO	GWP 20	78.410	72.509	72.509
	GWP 100	23.523	21.753	21.753
NO _x	GWP 20	25.915.717	29.253.717	26.478.856
	GWP 100	22.892.217	25.840.783	23.389.656
BC	GWP 20	254	237	242
	GWP 100	127	119	121
TOPLAM	GWP20	29.385.105	32.461.989	29.687.132
	GWP100	26.306.591	28.998.181	26.547.056

Çizel 6.15’te daha önce karşılaştırması yapılmış olan 1998, 2003, 2010 ve 2019 yılları için ülke genelinde açığa çıkan emisyonların karbon eşlenikleri verilmiştir. Buna göre denizcilik sektörü ülke genelinde salınan sera gazlarının yaklaşık %5’ine sebep olmaktadır.

Çizelge 6.15 : Türkiye’deki Sera Gazı Salınımı Karbon Eşlenikleri (Mt / Yıl).

YIL	ENERJİ	ENDÜSTRİYEL İŞLEMLER VE ÜRÜN KULLANIMI	TARIM	ATIK	TOPLAM
1998	195,9	27,4	43,7	13,5	280,4
2003	220,3	28,2	40,6	16,2	305,3
2010	287,0	48,1	44,4	19,5	399,1
2019	364,4	56,4	68,0	17,2	506,1



7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, 2019 ve 2020 yıllarında Türk Boğazları ve Marmara Denizinden geçen gemilerin yaydığı emisyonlar, aşağıdan yukarı hesaplama yöntemlerinden olan Seviye 3 yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Toplamda yanmanın direkt sonucu olan CO₂, CO, NO_x, PM, hidrokarbonlar ile başta SO_x olmak üzere yakıt kaynaklı kirleticiler dahil 20 farklı kirleticinin salınım miktarları hesaplanmıştır.

Hesaplama yapılırken, boğaza giriş ve boğazdan çıkış tarihleri, gemi hızları, uğraklı ya da uğraksız oluşu gibi gemi trafik bilgileri Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden alınarak, IHS veri tabanı üzerinden ulaşılan gemi özellikleri ile eşleştirilmiştir. Bu sayede gemilerin hızına bağlı olarak makine yükü ve kullanım süresi bulunarak toplam yakıt tüketimine ulaşılmıştır.

2019 ve 2020 yılları kendi içlerinde incelendiğinde, 2020 yılında gemi trafiği 2019 yılına göre İstanbul Boğazı için %7, Çanakkale Boğazı için ise %4 gerilemiş olsa da emisyonlarda bu farkın daha az olduğu görülmektedir. Tablolar detaylı incelendiğinde iki önemli husus özellikle dikkat çekmektedir.

Birinci husus, gemi sayısı ve yakıt tüketimlerinin düşmesine rağmen NO_x emisyonlarındaki artıştır. Bu artış, 2020 yılında gelen gemilerin daha fazla sayıda düşük devirli motor kullanması, gemilerin oran olarak daha çoğunun 2000 yılı öncesi üretimi olması ve gros tonajın motor gücüne oranının daha yüksek olmasıyla açıklanabilmektedir.

İkinci husus ise, ilk hususta belirtilen karışık olgulara rağmen, 2020 yılında yakıtlarda sülfür seviyesinin % 0,5'e çekilmesi ile birlikte özellikle SO_x emisyonlarında meydana gelen azalmadır. Bu azalma beraberinde PM_{2.5} ve PM₁₀ değerlerindeki azalmayı getirmiştir.

Boğazlar'dan geçen gemi sayılarında, önceki yıllar ile karşılaştırıldığında dikkate değer bir azalma görülmektedir. Ancak toplam gros tonaja bakıldığında yaklaşık %50 artış olduğu görülmektedir. Aynı şekilde geçen gemilerdeki toplam kurulu makine gücü de artmıştır. Bu iki husus sebebiyle toplam yakıt tüketimi artmaktadır. Ancak bu

artış, 2010 yılına göre %20 seviyelerinde kalmıştır. Bu, daha az yakıtla daha çok yükün taşındığı anlamına gelmektedir.

Geçen gemilerin inşa edildikleri tarihler, gros tonaj ve kurulu makine güçleriyle karşılaştırıldığında, 2000 öncesi yapılan gemilerin GT/kW oranlarının yaklaşık 2 olduğu; bunun 2000 – 2010 döneminde 2,5 ve 2010 sonrasında 3,6 dolaylarına çıktığı görülmektedir.

Gene aynı doğrultuda, 2000 öncesi gemilerde %60 civarında (regülasyon limitlerinden olan) 130 devir/dakikadan hızlı makinalar kullanılmakta iken bu oran 2000'den sonra %30'lara inmiştir. 2000 – 2010 arası inşa edilen gemilerde %50 oranında düşük devirli makinalar kullanılmakta iken, 2010 sonrasında bu oran %65'lere yükselmektedir.

Bu iki artışın da IMO MARPOL Ek VI'da tanımlanan Tier I, Tier II ve Tier III NO_x emisyon limitleri sebebiyle gemicilik sektörünün daha büyük gemilere yönelmesiyle ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bu bağlamda koyulan kuralların denizcilik sektörünü büyük gros tonajlı gemiler inşa etmeye ve bu gemilerde daha ziyade düşük devirli ancak daha güçlü makineler kullanmaya doğru yönlendirmiştir.

Hesaplamalarda ayrıca IMO tarafından ilan edilen Tier III ECA emisyon limitleri, limitlerin devreye girdiği 2020 yılı için uygulanmış ve sonuçta NO_x emisyonlarında yaklaşık %10 azalma görülmüştür. Bu azalmanın %10 mertebesinde kalmasının sebebi, sadece 1 Ocak 2016 ve sonrasında yapılan gemilere ek limitler getirmesidir.

ECA limitleri ile daha önce kademeli olarak düşürülen yakıttaki sülfür oranı, 2015 yılında % 0,1'e inmektedir. Bu ECA'dan geçecek tüm gemilerde düşük sülfürlü yakıt kullanılması anlamına geldiği için, SO_x emisyonlarında ise yaklaşık %70 iyileşme olacağı hesaplanmıştır. Ayrıca, yakıttaki sülfür oranıyla orantılı olarak PM seviyeleri de azalmıştır. Ancak PM oluşumu sülfür oranının yanı sıra yanma parametrelerine de bağlı olduğu için etki SO_x emisyonlarındaki kadar belirgin olmamaktadır. Bu iyileşmelerin, ECA ilan edilen bölgelerin artışıyla beraber daha da artacağı öngörülmektedir.

Emisyonların temel sonuçlarından olan küresel iklim değişikliği potansiyeli de bu çalışmada incelenen konulardan biridir. Hesabın güvenilirliği için sadece doğrudan kirletici adının bulunabildiği durumlarda GWP değeri hesaplanmıştır. GWP değerleri incelendiğinde özellikle NO_x emisyonlarının etkisinin çok büyük olduğu görülmektedir. Gemi emisyonları için GWP değerlerine bakıldığında, NO_x

emisyollarının küresel ısınma potansiyelinin toplamın %80 civarında olduğu görülmektedir. Bu sebeple hem Türkiye hem de dünya için, ECA olup olmamasından bağımsız olarak, Tier III emisyon limitlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu sayede küresel iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir katkı beklenmektedir.

Kural koyucular tarafından kabul edilmiş emisyon hesaplama metodlarını karşılaştırabilmek adına İstanbul ve Çanakkale Boğazları için yukarıdan aşağıya Seviye 2 yaklaşımı ile de hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalarda Seviye 2 ile bulunan emisyonların Seviye 3 yaklaşımından yaklaşık %65 daha düşük bulunduğu grlmştir. Bunun temel sebebi, Seviye 2 yaklaşımı için farklı gemi tiplerine ait ortalama kurulu makine gücü, ortalama hız ve yakıt tüketimi değerlerinin alınması ve bu değerlerin en son 2010 gemi filosu için hesaplanmasıdır. Zira 2000 – 2010 döneminde yapılan gemiler Tier I emisyon seviyelerine uygun yapılmışken, 2010 sonrası gemilerde hem verimlilik daha yüksektir, hem de gemi makineleri daha az kirletici üretecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu sebeple Seviye 2 yaklaşımının kullanılması için yeni ortalama gemi ve emisyon değerlerinin hesaplanması ve güncellenmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- [1] NOAA U.S. National Oceanic & Atmospheric Agency (2021). *Climate Change: Global Temperature*. Retrieved from <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature#:~:text=August%2012%2C%202021-,Highlights,land%20areas%20were%20record%20warm.>
- [2] BP (2020). *Statistical Review of World Energy*. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- [3] EIA U.S. Energy Information Administration (2019). *Energy consumption by source and sector*. Retrieved from <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41093#>
- [4] Pekin, A., (2007). *Ulaştırma Sektöründen Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Trozzi, C., Vaccaro, R., Nicolo, L., (1995). *Pair pollutants emissions estimate from maritime traffic in the Italian harbours of Venice and Piombino*
- [6] Lepkowski, J. (1995). *Evaluation of NO_x emission from marine diesel engines in the light of IMO new draft limitations*
- [7] UN United Nations (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*
- [8] Entec UK Limited (2002). *Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community*
- [9] Entec UK Limited (2005). *Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments*
- [10] EPA U.S. Environmental Protection Agency (2009). *Ports Emissions Inventory Guidance: Methodologies for Estimating Port-Related and Goods Movement*
- [11] EPA U.S. Environmental Protection Agency (2019). *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories*
- [11] EMEP European Environment Agency (2006). *Emission Inventory Guidebook – 2006*
- [12] EMEP European Environment Agency (2007). *Emission Inventory Guidebook – 2007*
- [13] EMEP European Environment Agency (2009). *Emission Inventory Guidebook – 2009*
- [14] EMEP European Environment Agency (2013). *Emission Inventory Guidebook – 2013*

- [15] **EMEP European Environment Agency** (2016). *Emission Inventory Guidebook – 2016*
- [16] **EMEP European Environment Agency** (2019). *Emission Inventory Guidebook – 2019*
- [17] **Kesgin, U., Vardar, N.,** (2000) *GA study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits*
- [18] **Deniz, C., Durmuşoğlu, Y.,** (2007) *Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, Turkey*
- [19] **Ergin, S.,** (2011). *Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Projesi – Sonuç Raporu*
- [20] **Kılıç, A.,** (2014). *Marmara Bölgesi' Ndeki Deniz Ve Hava Taşımacılığından Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Oluşturulması Ve Hava Kirliliğinin Modellenmesi* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Ay, C.,** (2007). *İstanbul Boğazından Geçen Ticari Gemilerden Kaynaklanan Emisyonun İncelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Türkiye Cumhuriyeti Devleti,** (2008). *Hava Kirliliği Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği*
- [23] **Sher, E.,** (1998). *Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines: Pollutant Formation and Control*
- [24] **National Geographic,** (2022). *Resource Library*. Retrieved from: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/smog/>
- [25] **MEPC, UN Marine Environment Protection Committee** (2005). *Amendments To The Annex Of The Protocol Of 1997 To Amend The International Convention For The Prevention Of Pollution From Ships, 1973, As Modified By The Protocol Of 1978 Relating Thereto* (Amendments to MARPOL Annex VI and the NO_x Technical Code)
- [26] **MEPC, UN Marine Environment Protection Committee** (2008). *Amendments To The Technical Code On Control Of Emission Of Nitrogen Oxides From Marine Diesel Engines* (NO_x Technical Code 2008)
- [27] **TÜİK Türkiye İstatistik Kurumu,** (2020). *Coğrafi İstatistik Portalı*. Retrieved from <https://cip.tuik.gov.tr/#>
- [28] **Türkiye Cumhuriyeti Devleti,** (2019). *Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği*
- [29] **UAB T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı** (2019). *Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistikleri*. Retrieved from <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/turk-bogazlari-gemi-gecis-istatistikleri>
- [30] **Trozzi** (2009). *Emission estimate methodology for maritime navigation*
- [31] **EPA U.S. Environmental Protection Agency** (2009). *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories*
- [32] **Herdzik, J.,** (2021). *Decarbonization of Marine Fuels – The Future of Shipping*

- [33] **TÜİK** **Türkiye İstatistik Kurumu**, (2019). *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990 – 2019* Retrieved from data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Greenhouse-Gas-Emissions-Statistics-1990-2019-37196





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Deniz İNAK

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans : 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- 2014-2018 yılları arasında Ford Otosan (Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.)’da egzoz ve emisyon sistemleri üzerine Ar-Ge Mühendisi olarak
- 2019-2020 yılları arasında Tümosan (Türk Motor Sanayi ve Ticaret A.Ş.)’da şanzıman hidroliği üzerine Ar-Ge Mühendisi olarak çalıştı.
- 2020 yılından beri de FEV Türkiye (FEV TR Otomotiv ve Enerji Araştırma ve Mühendislik Ltd. Şti)’de aktarma organları ve şasi sistemleri üzerine Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmakta.